



Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Wydział Matematyki i Informatyki

**Modelowanie procesów grupowego podejmowania  
decyzji w warunkach dynamicznych**

Modeling group decision making processes in dynamic conditions

Paweł Doleckiński

**UWAGA – TO JEST WERSJA ROBOCZA**  
Wydruk z 21 maja 2013

PRACA MAGISTERSKA  
wykonana pod kierunkiem  
prof. UAM dr hab. Macieja Wygalaka

Poznań 2013

# Oświadczenie

Ja, niżej podpisany **Paweł Doleckiński** student Wydziału Matematyki i Informatyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oświadczam, że przedkładaną pracę dyplomową pt.:

**Modelowanie procesów grupowego podejmowania decyzji w warunkach dynamicznych**

napisałem samodzielnie. Oznacza to, że przy pisaniu pracy, poza niezbędnymi konsultacjami, nie korzystałem z pomocy innych osób, a w szczególności nie zlecałem opracowania rozprawy lub jej części innym osobom, ani nie odpisywałem tej rozprawy lub jej części od innych osób.

Oświadczam również, że egzemplarz pracy dyplomowej w formie wydruku komputerowego jest zgodny z egzemplarzem pracy dyplomowej w formie elektronicznej.

Jednocześnie przyjmuję do wiadomości, że gdyby powyższe oświadczenie okazało się nieprawdziwe, decyzja o wydaniu mi dyplomu zostanie cofnięta.

.....

data

.....

podpis

# Spis treści

<b>Wstęp</b>	<b>6</b>
<b>1 Teoria decyzji</b>	<b>7</b>
1.1. Jakie decyzje potrzebują teorii? . . . . .	7
1.1.1. Podejście normatywne i deskryptywne . . . . .	9
1.2. Podstawy teoretyczne . . . . .	10
1.2.1. Podstawowe pojęcia . . . . .	10
1.2.2. Metody . . . . .	11
1.3. Interdyscyplinarność . . . . .	12
<b>2 Grupowe podejmowanie decyzji</b>	<b>13</b>
2.1. Charakterystyka grupy . . . . .	13
2.1.1. Definicja grupy . . . . .	13
2.1.2. Koncepcja grup decyzyjnych . . . . .	14
2.1.3. Charakterystyka grup decyzyjnych . . . . .	15
2.2. Strategie podejmowania decyzji . . . . .	16
2.3. Pułapki procesu decyzyjnego . . . . .	17
2.4. Syndrom grupowego myślenia . . . . .	18
2.5. Zalety i wady . . . . .	20
2.5.1. Zalety . . . . .	20
2.5.2. Wady . . . . .	20
2.6. Model klasyczny . . . . .	21
<b>3 Modelowanie grupowego podejmowania decyzji</b>	<b>24</b>
3.1. Model iteracyjny . . . . .	24
3.1.1. Definicja problemu . . . . .	25
3.1.2. Proces porozumienia (konsensusu) . . . . .	25
3.1.3. Proces selekcji . . . . .	27
3.1.4. Moderator i mechanizm informacji zwrotnej . . . . .	27
3.2. Dynamika: zbiór alternatyw . . . . .	27
3.3. Dynamika: zbiór ekspertów . . . . .	28
<b>4 Modelowanie rozmyte</b>	<b>31</b>

4.1. Elementy teorii zbiorów rozmytych . . . . .	32
4.1.1. Podstawowe definicje . . . . .	32
4.1.2. Operacje na zbiorach rozmytych . . . . .	35
4.1.3. Relacja rozmyta . . . . .	37
4.1.4. Operatory agregacji . . . . .	38
4.2. Zastosowanie logiki rozmytej w podejmowaniu decyzji . . . . .	39
4.2.1. Reprezentacja preferencji . . . . .	41
4.2.2. Ocena globalna . . . . .	41
4.2.3. Tworzenie rankingu . . . . .	42
<b>5 Sposoby reprezentacji preferencji</b>	<b>43</b>
5.1. Model ogólny . . . . .	43
5.2. Metody klasyczne . . . . .	44
5.2.1. Uporządkowanie alternatyw . . . . .	44
5.2.2. Multiplikatywna relacja preferencji . . . . .	44
5.2.3. Funkcja użyteczności . . . . .	45
5.3. Metody oparte na zbiorach rozmytych . . . . .	45
5.3.1. Rozmyta relacja preferencji . . . . .	45
5.3.2. Rozmyta relacja preferencji w przypadku wielu kryteriów . . . . .	47
5.3.3. Ocena lingwistyczna . . . . .	47
5.3.4. Niesymetryczna zmienna lingwistyczna . . . . .	49
<b>6 System wspomagania decyzji grupowej</b>	<b>53</b>
6.1. Organizacja pracy grupy . . . . .	53
6.2. Zasada działania . . . . .	54
6.3. Model teoretyczny . . . . .	54
6.3.1. Etap unifikowania . . . . .	55
6.3.2. Proces selekcji: agregacja . . . . .	58
6.3.3. Proces selekcji: eksploatacja . . . . .	59
6.3.4. Proces konsensusu . . . . .	59
6.3.5. Proces konsensusu: wskaźniki konsensusu . . . . .	60
6.3.6. Dynamiczny wybór alternatyw . . . . .	62
6.3.7. Informacja zwrotna . . . . .	62
<b>7 Prototyp aplikacji TDM</b>	<b>64</b>
7.1. Architektura systemu TDM . . . . .	64
7.1.1. Wykorzystane technologie . . . . .	65
7.1.2. Aplikacja kliencka . . . . .	66
7.1.3. Serwer . . . . .	70
7.2. Studium przypadku . . . . .	72
7.2.1. Pierwszy etap w procesie decyzyjnym . . . . .	74

---

7.2.2. Drugi etap w procesie decyzyjnym . . . . .	76
<b>8 Podsumowanie i plany rozwoju systemu</b>	<b>77</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>79</b>
<b>Spis rysunków</b>	<b>82</b>
<b>Spis tablic</b>	<b>83</b>

**Wstep**

# Rozdział 1

## Teoria decyzji

Teoria decyzji to teoria zajmująca się szeroko pojętymi decyzjami. Tematyka ta nie jest jeszcze zunifikowana i ze względu na to istnieje wiele różnych podejść teoretycznych. Jest to wspólny obszar zainteresowań wielu różnych dziedzin nauki, między innymi: ekonomii, zarządzania, psychologii, filozofii, socjologii, kognitywistyki, medycyny, matematyki i informatyki.

Wyróżnia się klasyczną inżynierską teorię decyzji, która szuka optymalnych/najlepszych rozwiązań w dobrze sformalizowanej dziedzinie oraz kognitywistyczne teorie decyzji, które szukają rozwiązań wystarczających/skutecznych dla tak zwanych rzeczywistych problemów (ang. real world problems) lub źle zdefiniowanych problemów (ang. ill defined problems).

Jak widać, jest to bardzo przydatny obszar nauki, który obejmuje analizę oraz wspomaganie procesu podejmowania decyzji. Analiza decyzji polega na badaniu konkretnego przypadku podjęcia decyzji. Wyznacza się decyzję optymalną i jeśli nie jest to decyzja podjęta w danym przypadku to szuka się przyczyn pomyłki. Natomiast wspomaganie decyzji jest próbą wyznaczenia najlepszego rozwiązania przy danym zasobie wiedzy i informacji.

Niniejsza praca obejmuje wspomaganie decyzji grupowej dla problemów „rzeczywistych”. W tym rozdziale zostanie omówiony wstęp do teorii decyzji. Zostanie wyjaśnione, dlaczego niezbędne było wprowadzanie takowej teorii oraz będą wprowadzone, niezbędne w dalszym czytaniu pracy, podstawy teoretyczne i terminologia. Na końcu jeszcze raz będzie podkreślona interdyscyplinarność tej dziedziny nauki.

### 1.1. Jakie decyzje potrzebują teorii?

Spójrzmy na kilka różnych codziennych przykładów zagadnień decyzyjnych oraz na teoretyczne problemy, które mogą one powodować:

- Czy powinienem dziś zabrać ze sobą parasol?

Decyzja zależy od czegoś, czego nie wiem. Mianowicie, czy będzie padać, czy nie.

- Chcę kupić dom. Czy powinienem kupić właśnie ten?

Ten dom wygląda dobrze, ale może znajdę jeszcze lepszy w tej samej cenie, jeśli będę szukać dalej. Kiedy powinienem przerwać poszukiwania?

- Iść zapalić kolejnego papierosa?

Jeden papieros nie stanowi problemu, ale jeśli podejmą decyzję o zapaleniu wystarczająco dużo razy to mogę poważnie zachorować.

- Sąd musi zdecydować, czy oskarżony jest winny czy nie.

Istnieją dwa błędy, które może popełnić sąd: skazać niewinną osobą lub uniewinnić winną osobę. Jakie zasady powinien stosować sąd, jeśli uzna pierwszy z błędów za bardziej poważny niż drugi?

- Zarząd musi podjąć decyzję, ale jego członkowie mają różne opinie.

Jakie zasady powinna zastosować grupa aby mieć pewność, że mogą osiągnąć konsensus, nawet jeśli członkowie nie zgadzają się ze sobą nawzajem?

Prawie wszystko co robi człowiek wiąże się z decyzjami. Dlatego teoretyzować o decyzji to niemal to samo co teoretyzować o działalności człowieka. Mimo wszystko teoria decyzji nie jest aż tak wszechogarniająca. Koncentruje się tylko na niektórych aspektach działalności ludzkiej. W szczególności, koncentruje się na tym, w jaki sposób korzystamy z wolności. Okazuje się, że w sytuacjach rozpatrywanych przez teoretyków, dostępne są opcje do wyboru i wybór dokonywany jest w sposób nielosowy. Ludzkie wybory są działalnością zorientowaną na cele. Zatem, teoria decyzji dotyczy zachowań zorientowanych na cele w obecności wielu opcji.

Decyzji nie podejmuje się w sposób ciągły. W historii w niemal każdej działalności są okresy, w których jest czas na podejmowanie decyzji oraz okresy, w których ma miejsce realizacja podjętych decyzji. Teoria decyzji próbuje na różne sposoby rzucić światło na ten pierwszy rodzaj okresów.

Metody teorii decyzji wykorzystuje się wszędzie tam, gdzie podjęcie decyzji jest z pewnych powodów trudne. Przykładowymi przyczynami mogą być:

- duża liczba możliwych opcji - na przykład wybór odpowiedniego kandydata na dane stanowisko,
- skomplikowana sytuacja decyzyjna - na przykład opracowanie takich tras i rozkładów jazdy komunikacji miejskiej, aby zapewnić wysoki poziom obsługi przy jak najniższym koszcie,



- możliwość wysokich korzyści lub dużych strat - na przykład wybór sposobu ulokowania oszczędności,
- skomplikowany proces decyzyjny - na przykład podejmowanie grupowych decyzji w dużych organizacjach
- waga problemu decyzyjnego - na przykład ustalenie okręgów wyborczych w wyborach prezydenckich.

Z powyższych przykładów wynika, że metody teorii decyzji stosujemy wszędzie tam, gdzie koszt ich zastosowania może przynieść wymierne korzyści.

### 1.1.1. Podejście normatywne i deskryptywne

Rozróżnienie normatywnego i deskryptywnego podejścia w teorii decyzji jest w zasadzie bardzo proste. Normatywna teoria decyzji to teoria o tym, jak decyzje powinny być podjęte, natomiast deskryptywna teoria decyzji, jak decyzje są rzeczywiście podejmowane.

„Powinny” w poprzednim zdaniu może być interpretowane na wiele sposobów. Istnieje jednak praktycznie całkowite porozumienie między naukowcami, że odnosi się to do przesłanek racjonalnego podejmowania decyzji. Innymi słowy, normatywna teoria decyzji to teoria o tym, jak decyzje powinny być podejmowane, aby były racjonalne. Jest to bardzo ograniczony sens słowa „normatywny”. Normy racjonalne nie są bynajmniej jedynymi, które można stosować w procesie podejmowania decyzji. Jednakże, zgodnie z praktyką, wszystkie inne normy są poza teorią decyzji. Zanim przystąpi się do procesu podejmowania decyzji, normy takie jak etyczne czy polityczne muszą być ustalone.

Podsumowując, teoria decyzji o charakterze normatywnym zajmuje się wyznaczeniem optymalnego rozwiązania przez idealnego decydenta, który całkowicie wykorzystuje dostępne mu informacje, wyznacza korzyści z perfekcyjną dokładnością i działa w pełni racjonalnie.

Niestety wiadomo, że ludzie nie zawsze postępują w sposób optymalny i racjonalny, istnieje również podejście deskryptywne, opisujące typowe zachowania człowieka w danej sytuacji decyzyjnej. Chociaż zakres podejścia normatywnego jest bardzo ograniczony, to rozróżnienie pomiędzy normatywną teorią decyzji a jej opisowymi interpretacjami jest często rozmyte. Bardzo trudno jest postawić ostrą granicę między tymi dwoma interpretacjami. Niemniej jednak, w tej pracy będzie rozpatrywane podejście deskryptywne.

## 1.2. Podstawy teoretyczne

Jak każda teoria, tak i teoria decyzji systematyzuje pojęcia związane z decyzjami. Teoria decyzji zajmuje się sytuacją problemową (problem decyzyjny), w której podmiot (decydent) staje przed koniecznością wyboru jednego z przynajmniej dwóch wariantów działania (decyzji, alternatyw). W pierwszym kroku należy ustalić warunki ograniczające decyzję, dzięki czemu powstanie zbiór decyzji dopuszczalnych. Wyodrębnia się wszystkie istotne kryteria oceny decyzji i dokonuje się oceny każdej decyzji na podstawie kryteriów. Następnie buduje się model decyzyjny, czyli sposób wybrania decyzji optymalnej.

Ze względu na posiadane informacje, problemy decyzyjne dzieli się na trzy grupy:

- decyzje podejmowane w warunkach pewności - każda decyzja pociąga za sobą określone, znane konsekwencje,
- decyzje podejmowane w warunkach ryzyka - każda decyzja pociąga za sobą więcej niż jedną konsekwencję,
- znany jest zbiór możliwych konsekwencji i prawdopodobieństwa ich wystąpienia, decyzje podejmowane w warunkach niepewności - nie są znane prawdopodobieństwa wystąpienia konsekwencji danej decyzji.

### 1.2.1. Podstawowe pojęcia

Na początku tego podrozdziału pojawiło się kilka pojęć związanych z teorią decyzji. Warto zacząć od zdefiniowania czym jest decyzja oraz decydent. Decyzja, lub inaczej alternatywa, to jeden z możliwych wariantów działania. Aby cały proces podejmowania decyzji miał sens, muszą istnieć przynajmniej dwie różne alternatywy. Zbiór wszystkich decyzji nazywa się przestrzenią decyzyjną. Decydent, lub inaczej ekspert, to podmiot dokonujący ostatecznego wyboru jednej z alternatyw. Decydentem może być człowiek, grupa ludzi lub maszyna. Można już zdefiniować kolejne ważne pojęcie, mianowicie problem decyzyjny. Problem decyzyjny to sytuacja, w której decydent staje przed koniecznością dokonania wyboru spośród minimum dwóch różnych alternatyw. Sformułowanie problemu decyzyjnego jest pierwszym krokiem do stworzenia modelu decyzyjnego. Problem decyzyjny powinien obejmować: decydenta (eksperta) lub grupę decydentów, warunki ograniczające decyzję, zbiór decyzji dopuszczalnych, kryteria oceny decyzji.

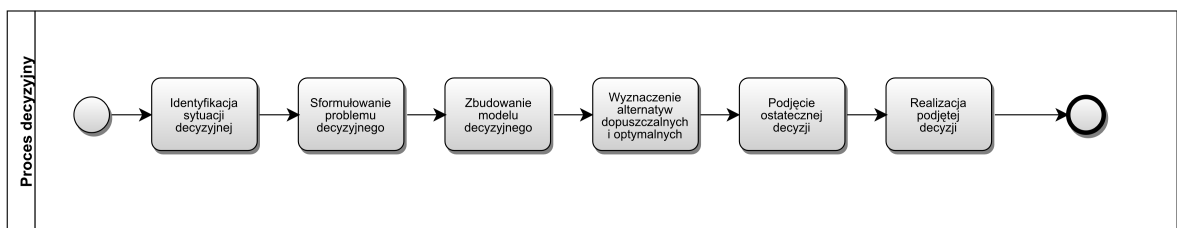
Przed sformułowaniem problemu decyzyjnego, należy też zidentyfikować sytuację decyzyjną. Sytuacja decyzyjna oznacza zbiór wszystkich czynników mających wpływ na podjęcie decyzji. Dla przykładu, do sytuacji decyzyjnej może zaliczać się ilość posiadanych pieniędzy, doświadczenie w danej dziedzinie, zakres czasowy.

Kolejnym pojęciem jest model decyzyjny. Jest to teoretyczne odwzorowanie wy-cinka rzeczywistości, które opisuje problem decyzyjny. W większości przypadków mo-dele budowane na potrzeby problemu decyzyjnego to modele matematyczne, ale nie tylko. Bardzo często, ze względu na interdyscyplinarność zagadnienia, tworzy się mo-dele statystyczne, ekonomiczne, informatyczne, psychologiczne, bądź filozoficzne.

Po zdefiniowaniu modelu decyzyjnego, ekspert lub grupa ekspertów musi wyzna-czyć zbiór alternatyw dopuszczalnych, czyli takich, które spełniają wszystkie warunki ograniczające decyzję (określone przy definiowaniu problemu). Ze zbioru alternatyw dopuszczalnych, przy pomocy modelu, wyznacza się zbiór alternatyw optymalnych, czyli najlepszych z punktu widzenia kryteriów oceny decyzji. Najczęściej jest to jedna alternatywa. W przypadku zbioru pustego, problem decyzyjny nie posiada rozwiąza-nia. Na końcu podejmowana jest ostateczna decyzja oraz jej realizacja.

Opisane powyżej kroki składają się na proces decyzyjny. Proces decyzyjny to grupa logicznie ze sobą powiązanych operacji myślowych, prowadzących do roz-wiązania problemu decyzyjnego poprzez wybranie jednego z możliwych wariantów działania. Podsumowując, proces decyzyjny składa się z następujących kroków:

- identyfikacja sytuacji decyzyjnej,
- sformułowanie problemu decyzyjnego,
- zbudowanie modelu decyzyjnego,
- wyznaczenie alternatyw dopuszczalnych oraz optymalnych,
- podjęcie ostatecznej decyzji,
- realizacja podjętej decyzji.



Rys. 1.2.1: Proces decyzyjny

### 1.2.2. Metody

Teoria decyzji nie jest jednolitą dziedziną nauki, a raczej zbiorem wypracowa-nych metod przez różne dziedziny. Omawiając metody stosowane w teorii decyzji, nie

można zapominać o jej interdyscyplinarnym charakterze. Stosując modele matematyczne, jak na przykład metody programowania liniowego, nie powinno się przesłaniać psychologicznych i socjologicznych aspektów procesu decyzyjnego.

Metody podejmowania decyzji dzielone są na kategorie. Jedną z tych kategorii jest omówione wcześniej podejście normatywne. Jeżeli decyzja podejmowana jest w warunkach pewności to mówi się o deterministycznych metodach teorii decyzji, natomiast ryzykiem i niepewnością zajmują się metody niedeterministyczne. Przypadkami kiedy jest więcej niż jedno kryterium oceny decyzji, zajmuje się dział zwany wielokryterialną analizą decyzyjną.

Podejście deskryptywne jest kolejną kategorią metod teorii decyzji. Podejście deskryptywne zajmuje się opisem typowych zachowań ludzi w procesie decyzyjnym i wskazuje na czynniki mające wpływ na podjęcie ostatecznej decyzji. Dlatego wyróżnia się tutaj metody psychologiczne oraz socjologiczne, na przykład negocjacje.

Ważnym rodzajem metod teorii decyzji jest komputerowe wspomaganie decyzji. Rozwój technologii informatycznych spowodował, że systemy komputerowe zaczęły pełnić istotną rolę tam, gdzie trzeba przetworzyć szybko bardzo dużą ilość danych, wykorzystać skomplikowane obliczeniowo modele albo, w przypadku grup, nie ma możliwości spotkania się w jednym miejscu w jednym czasie.

### 1.3. Interdyscyplinarność

Nowoczesna teoria decyzji zaczęła się rozwijać od połowy dwudziestego wieku z wielu dyscyplin naukowych. Chociaż obecnie jest to w dużej części dziedzina ścisła, to zazwyczaj jest realizowana przez naukowców z zakresu ekonomii, psychologii, nauk politycznych i społecznych, socjologów i psychologów. Istnieją pewne podziały prac pomiędzy tymi grupami. Politolog będzie studiował zasady głosowania oraz inne aspekty grupowego podejmowania decyzji. Psycholog oraz socjolog może badać zachowania osób podejmujących decyzje, a filozof wymagania dotyczące racjonalności. Matematyk opisie cały proces w sposób formalny, a informatyk zbuduje system w oparciu o ten model.

Mimo szerokiego pola badań, istnieje duża zbieżność co do podejścia do problemu. Naukowcy z różnych środowisk wykorzystują wyniki badań z wszystkich dziedzin i stosują je przy rozwiązywaniu tych samych lub podobnych problemów. Teorię decyzji można rozpatrywać pod kątem jednej dyscypliny niezależnie, jednak najlepsze wyniki, najbardziej zbliżone do rzeczywistości, uzyskiwane są po uwzględnieniu osiągnięć wszystkich dziedzin zajmujących się teorią decyzji.

# Rozdział 2

## Grupowe podejmowanie decyzji

W teorii decyzji wyróżnia się gałąź, która zajmuje się problemem podjęcia decyzji w przypadku, kiedy mamy do czynienia z większą niż jednoosobową grupą ludzi, tak zwanych ekspertów. W takiej sytuacji zawodzą techniki znane z klasycznej teorii decyzji. Trzeba wziąć pod uwagę różne charaktery osób, ich intencje oraz interesy.

Poniższy rozdział poświęcony jest psychologicznym aspektom grupy, wadom oraz zaletom grupowego podejmowania decyzji, jak również omówiony jest klasyczny wyidealizowany model matematyczny, który stanowi podstawę dalszych rozważań. Omówione też są strategie wykorzystywane w prawdziwym życiu przez grupy do osiągnięcia porozumienia, czyli konsensusu.

Należy podkreślić, że omawiane decyzje grupowe nie są decyzjami związanymi z polityką oraz wyborami demokratycznymi, bowiem te rządzą się innymi prawami. Tak samo omawiane rodzaje grup dotyczą małej ilości ekspertów, od kilku do kilkunastu osób.

### 2.1. Charakterystyka grupy

#### 2.1.1. Definicja grupy

W teorii grupowego podejmowania decyzji można wyróżnić co najmniej trzy sposoby postrzegania grupy:

1. Grupa jako zbiorowa całość, jednostka niezależna od cech członków
2. Grupa jako zbiór jednostek, gdzie cechy grupy są funkcją cech poszczególnych członków
3. Grupa jako zbiorowa całość, którą tworzy zestaw jednostek, gdzie zrozumienie zachowań grupy wymaga zrozumienia jednocześnie cech grupy i cech poszczególnych członków [Delbecq]

Trzeci sposób jest najbardziej złożony i oddaje rzeczywisty obraz grupy. Analiza tej perspektywy pozwala lepiej zrozumieć jej działanie, a dzięki temu lepiej ją wspierać w procesie podejmowania decyzji. Należy pamiętać, że grupę tworzą ludzie. Człowiek jest z natury istotą społeczną, chętną do pracy grupowej w mniejszym lub większym stopniu. Jednocześnie każdy chce zachować swoją indywidualność i niepowtarzalność.

Zgodnie z tymi rozważaniami grupa ma własny umysł i można badać jej zachowanie niezależnie od badania cech jej członków, ale nie w oderwaniu od nich. Koncepcję umysłu grupowego rozwinął D.M. Wegner, wprowadzając pojęcie systemu pamięci transakcyjnej. Według niego pamięć transakcyjna jest właściwością grupy i nie można jej przypisać żadnej pojedynczej jednostce, ani też znaleźć gdzieś między członkami.

*„The transactive memory system in a group involves the operation of the memory systems of the individuals and the processes of communication that occur within the group. Transactive memory is therefore not traceable to any of the individuals alone, nor can it be found somewhere ‘between’ individuals. Rather it is a property of a group.” [1]*

### 2.1.2. Koncepcja grup decyzyjnych

W literaturze dotyczącej grupowego podejmowania decyzji rozważa się z reguły grupę interaktywną. Można jednak wyróżnić co najmniej dwa inne typy zbiorowych jednostek decyzyjnych. Nie są to grupy w potocznym rozumieniu, natomiast należy je uznać za część procesu podejmowania decyzji grupowej, który będzie rozważany później.

- 1) Grupa interaktywna Tradycyjna grupa, której spotkanie rozpoczyna się od przedstawienia problemu przez przywódcę. Następnie ma miejsce niesformalizowana dyskusja służąca zgromadzeniu informacji na temat problemu i poznaniu stanowisk uczestników. Decyzja jest zwykle podejmowana przez głosowanie lub akklamację.
- 2) Grupa nominalna

Grupa nominalna jest to technika opracowana przez A. L. Delbecg i A. H. Van de Ven w 1968 roku (2). Procedura ma konkretną strukturę i przebiega w następujący sposób: 1) członkowie grupy w samotności spisują swoje pomysły, rozwiązania problemu lub realizacji zadania, 2) następnie w rundach każdy uczestnik przedstawia swoje pomysły, których podsumowanie jest bez dyskusji zapisywane na tablicy, 3) po przedstawieniu wszystkich pomysłów następuje dyskusja w celu omówienia i oceny zapisanych pomysłów, 4) na koniec członkowie ponownie w samotności dokonują oceny poprzez uszeregowanie wszystkich pomysłów. Decyzja „grupowa” wynika z agregacji indywidualnych pomysłów.

- 3) Grupa delficka Członkowie grupy delfickiej, w przeciwieństwie do grup interaktywnych i nominalnych, fizycznie znajdują się w różnych miejscach i nie mają możliwości spotkania się twarzą w twarz w celu podjęcia decyzji. Grupa delficka wykorzystywana jest do uzgodnienia wspólnej opinii ekspertów. Istotą techniki delfickiej jest korespondencyjne zbieranie pomysłów i opinii na dany temat w ramach wybranej grupy społecznej lub zawodowej lub w ramach wąskiej grupy ekspertów z konkretnej dziedziny. Badania te są najczęściej przeprowadzane za pomocą ankiet przesyłanych drogą pocztową lub elektroniczną, ale możliwe są również badania o charakterze bardziej interaktywnym, np. z wykorzystaniem komputerowych list dyskusyjnych. Następnie każdemu z ekspertów przesyłane są informacje o pomysłach pozostałych, anonimowych uczestników w celu ich przeanalizowania i ewentualnej syntezy lub rewizji swoich poglądów. Proces taki, w zależności od potrzeb można powtarzać wielokrotnie.

bibliografia

### 2.1.3. Charakterystyka grup decyzyjnych

Wszystkie wyżej wymienione rodzaje grup należy w jakiś sposób scharakteryzować. Harrison [3] zaproponował charakterystykę grup ze względu na trzy „kategorie”: kryteria oceny decyzji grupowej, sytuacyjne cechy grupowego podejmowania decyzji oraz członkostwo grupowe.

- Kryteria oceny decyzji grupowej

Każda podjęta decyzja musi zostać poddana ocenie według pewnych przyjętych kryteriów. Do najważniejszych zaliczane są:

- jakość,
- akceptacja,
- oryginalność;

- Sytuacyjne cechy grupowego podejmowania decyzji

Za szczególnie ważne dla funkcjonowania grupy i dokonania przez nią wyboru uznaje się:

- dostęp do wiedzy fachowej,
- zasięg podmiotowy decyzji, konflikt w obrębie grupy;

- Członkostwo grupowe

Można przyjąć, że w skład grupy decyzyjnej wchodzi w różnych proporcjach trzy typy jednostek:

- ekspert,

Tab. 2.1.1: Charakterystyka grup decyzyjnych

	Grupa interaktywna	Grupa nominalna	Grupa delficka
<b>Kryteria oceny decyzji grupowej</b>			
<i>jakość</i>	średnia do wysokiej	średnia	niska do średniej
<i>akceptacja</i>	średnia do wysokiej	średnia	niska do średniej
<i>oryginalność</i>	niska do średniej	średnia	średnia do wysokiej
<b>Sytuacyjne cechy grupowego podejmowania decyzji</b>			
<i>dostęp do wiedzy fachowej</i>	niski do średniego	średni	średni do wysokiego
<i>zasięg decyzji</i>	średni do szerokiego	średni	wąski do średniego
<i>konflikt w obrębie grupy</i>	średni do wysokiego	niski do średniego	niski
<b>Członkostwo grupowe</b>			
<i>ekspert</i>	okazjonalnie	często	zwykle
<i>przedstawiciel</i>	często	okazjonalnie	rzadko
<i>współpracownik</i>	zwykle	często	okazjonalnie

- przedstawiciel,
- współpracownik.

## 2.2. Strategie podejmowania decyzji

W literaturze wymienia się trzy strategie (typy) grupowego podejmowania decyzji:

- 1) rutynowe podejmowanie decyzji,
- 2) twórcze podejmowanie decyzji,
- 3) negocjacyjne podejmowanie decyzji.

To, którą strategię wybierze grupa zależy od rodzaju podejmowanej decyzji. Strategia pierwsza dotyczy podejmowania programowanych decyzji, natomiast druga - nieprogramowanych. Na każdą z trzech strategii grupowego podejmowania decyzji składa się zachowanie grupowe, które sprowadza się do pięciu wymiarów:

- 1) struktura grupy,
- 2) role grupowe,
- 3) proces grupowy,
- 4) styl grupowy,
- 5) normy grupowe.



Zależności zachowania grupy od przyjętej strategii zostały zaprezentowane w tabeli 2.2.1 (źródło Harrison, s. 234).

Tab. 2.2.1: Strategie grupowego podejmowania decyzji

	<b>Rutynowe podejmowanie decyzji</b>	<b>Twórcze podejmowanie decyzji</b>	<b>Negocjacyjne podejmowanie decyzji</b>
<b>Struktura grupy</b>	Specjaliści wraz z koordynatorem (przewodcą)	Heterogeniczny, kompetentny skład; sprzyjający procesom twórczym kierownik	Proporcjonalna reprezentacja zainteresowanych stron
<b>Role grupowe</b>	Niezależny wysiłek; specjalistyczna wiedza	Wszystkie pomysły są przedmiotem grupowej dyskusji	Jednostka postrzega się jako reprezentant zainteresowanej strony
<b>Proces grupowy</b>	Określenie celów; interakcje pomiędzy koordynatorem i specjalistami	Proces rozwiązywania problemu z pełną partycypacją i spontaniczną komunikacją	Uporządkowana komunikacja; sformalizowane procedury obrad i głosowania
<b>Styl grupowy</b>	Znaczny stres wynikający z wymagań jakościowych i ilościowych oraz ograniczeń czasowych	Relaksacyjne, niestresujące otoczenie; brak sankcji	Otwartość i szczerość; Akceptacja procedur; unikanie wrogości
<b>Normy grupowe</b>	Profesjonalizm	Otwartość komunikacji; konsensus; wspieranie oryginalności; eliminacja autorytaryzmu	Pragnienie osiągnięcia porozumienia; konstruktywne postrzeganie konfliktu; akceptacja kompromisu

## 2.3. Pułapki procesu decyzyjnego

Proces formułowania i rozwiązywania problemu jest psychologicznie skomplikowany i sprzyja powstawaniu wielu pułapek, w które wpada grupa. Ma to miejsce szczególnie w przypadku grup niedoświadczonych, nieumiejętnie prowadzonych, ale również w przypadku osób, które mają już za sobą rozwiązanych wspólnie wiele problemów i podjętych decyzji. Do najbardziej znanych problemów należą:

### 1. Dysonans poznawczy

Pojawia się wtedy, gdy występuje niezgodność pomiędzy przynajmniej dwoma przekonaniami. Teoria dystansu poznawczego stwierdza, że ludzie postępują różnie w zależności od własnej samooceny. Osoby o wysokiej samoocenie po podjęciu decyzji podwyższają wartość wybranego rozwiązania jednocześnie

dyskredytując pozostałe opcje. Osoby o niskiej samoocenie postępują odwrotnie - zaniżają wartość wybranego przez siebie sposobu działania. W praktyce oznacza to, że podjęcie decyzji może być pozorowane. Informacje oraz doradcy dobierani są selektywnie, aby usprawiedliwić wybór wariantu dokonany na początku. Dodatkowo osoby o niskiej samoocenie przez swoje niezdecydowanie mogą prowadzić proces w nieskończoność. Wszystko to prowadzi do podejmowania decyzji niezgodnej z opinią grupy, co nasila uczucie dysonansu.

## 2. Iluzje decyzyjne

Redukują nasz wysiłek i polegają na iluzorycznej pewności reguły decyzyjnej. Wyróżnia się cztery rodzaje iluzji:

- iluzja ekstrapolacji polegająca na założeniu, że dotychczasowe rozwiązania są skuteczne, co prowadzi do ich powielania bez względu na ich skuteczność w nowych warunkach;
- iluzja optymizmu, tzw. Monte Carlo, polegająca na uznawaniu, że zdarzenia cenne są bardziej prawdopodobne i po serii niepowodzeń wzrasta szansa sukcesu;
- iluzja Kolumba polegająca na tendencyjnym doborze i selekcji informacji w celu uzasadnienia wybranego rozwiązania;
- iluzja kontroli polegająca na wierze w możliwość kontrolowania zdarzeń losowych (jeśli lekko rzucimy kostką to wypadnie mała liczba, a jeśli mocno to duża).

## 3. Syndrom grupowego myślenia [4]

Inaczej iluzja jednomyślności, jednak ze względu na powszechność tego zjawiska rozpatrywane jest jako osobna pułapka. Pojawia się gdy dążenie grupy do konsensusu i jednomyślności przeważa nad dążeniem do osiągnięcia jak najlepszej decyzji. W wyniku tego zjawiska może dojść do podjęcia decyzji która nie leży w interesie grupy, ale jest sposobem na uniknięcie konfliktu.

## 2.4. Syndrom grupowego myślenia

Termin ten został wprowadzony przez amerykańskiego psychologa Irvinga Janisa w 1972 roku. Udokumentowanym przykładem tego syndromu była katastrofa promu kosmicznego „Challenger”. Podczas przygotowań do wystrzelenia wahadłowca wystąpiło wiele problemów oraz pojawiły się liczne wątpliwości. Mimo tego na każdym etapie przygotowań podejmujący decyzje twierdzili, że nie ma podstaw do opóźnienia bądź odwołania startu. Według Janisa [5] grupowe myślenie charakteryzuje się następującymi objawami:

- iluzja nieomyślności i pewności siebie,
- lekceważenie niepomysłnych informacji,
- lekceważące traktowanie wyników i osób spoza zespołu,
- wywierania nacisku dla wymuszenia konformizmu,
- samocenzurowanie się (aby uniknąć powtarzających się negatywnych reakcji grupy jej krytyczni członkowie decydują się milczeć),
- iluzja jednomyślności (milczenie jest oznaką zgody),
- filtrowanie informacji, czyli niedopuszczanie danych sprzecznych ze zdaniem grupy.

Grupa widzi i słyszy tylko to, co chce. Nie poszukuje się i nie bierze pod uwagę nowych możliwości, co prowadzi do podejmowania błędnych decyzji. Według Janisa, aby skutecznie funkcjonować, grupa musi ciągle pobierać i odpowiednio weryfikować uzyskane informacje. Proces ten może ulegać defektom prowadzącym do błędnych decyzji. Najważniejsze defekty to:

- ograniczenie dyskusji do rozważania zaledwie kilku działań bez analizowania pełnej gamy alternatyw,
- unikanie przez grupę powtórnego analizowania poprzednio preferowanego sposobu działania,
- lekceważenie alternatyw początkowo ocenionych negatywnie,
- bardzo małe wykorzystanie możliwości uzyskania informacji od zewnętrznych ekspertów.

Aby uniknąć wystąpienia grupowego myślenia, każdy członek grupy powinien wnikliwie i krytycznie ocenić wszystkie możliwe rozwiązania. Przywódca nie powinien zbyt wcześnie wygłaszać swojego poglądu, aby wszyscy członkowie grupy mieli szansę wypowiedzieć się swobodnie. Syndrom grupowego myślenia zrobił dużą karierę w psychologii społecznej, należy jednak pamiętać, że posiada niewielkie osadzenie w systematycznych badaniach naukowych. Został sformułowany na podstawie obserwacji kilku spektakularnych, błędnych decyzji podejmowanych przez wybitnych specjalistów.

## 2.5. Zalety i wady

Powszechnie przyjmuje się, że „co dwie głowy to nie jedna”. Teoretycznie decyzje podjęte przez grupę ekspertów wskutek kumulacji wiedzy wielu jednostek powinny stanowić najlepsze z możliwych rozwiązań omawianego problemu, powinny być lepiej przemyślane oraz bardziej różnorodne niż w przypadku decyzji jednoosobowej. Niestety, jak pokazano wcześniej, grupa narażona jest na szereg pułapek i błędów, które może popełnić jeżeli jest źle dobrana bądź nieodpowiednio moderowana.

### 2.5.1. Zalety

Jako zalety przemawiające za podjęciem decyzji grupowo wymienia się: [1]

1. Większą ogólną sumę wiedzy lub informacji.

Grupa dysponuje większą ilością informacji niż którykolwiek z jej członków. Dlatego w sytuacjach wymagających wiedzy decyzje grupowe powinny być lepsze od indywidualnych.

2. Większą ilość podjęć do problemu.

Jednostki często myślą w sposób rutynowy, natomiast konfrontacja z innymi osobami o odmiennych punktach widzenia stymuluje nowe poglądy i poszerza indywidualne horyzonty.

3. Zwiększona ogólna akceptacja końcowego wyboru.

Kiedy decyzję podejmuje grupa, większa liczba osób odczuwa i akceptuje odpowiedzialność za realizację wybranego kierunku działania.

Co więcej, akceptowana decyzja o niskiej jakości może okazać się bardziej efektywna od decyzji o wysokiej jakości, która nie cieszy się poparciem.

4. Lepsze zrozumienie decyzji

Udział w podejmowaniu decyzji ułatwia komunikację w trakcie jej realizacji.

### 2.5.2. Wady

Jako wady przeszkadzające grupie w dokonaniu optymalnej decyzji wymienia się:

1. Nacisk społeczny

Dążenie do tego, aby być dobrym członkiem grupy i akceptowanym przez nią sprzyja konsensusowi i łagodzi nieporozumienia.

Niestety nacisk na grupową spójność i jednomyślność może prowadzić do wspomnianego wcześniej syndromu myślenia grupowego.

#### 2. Akceptacja pierwszego rozwiązania

Bardzo często grupa akceptuje pierwsze rozwiązanie, które cieszy się silnym poparciem większości członków lub dominującej mniejszości.

Zgłoszone później lepsze alternatywy mają niewielką szansę na dokładną analizę i uwzględnienie.

#### 3. Dominacja jednostki

W większości grup wyznaczany jest przywódca albo wyłania się jednostka dominująca, która wywiera wpływ na pozostałych członków i

niejako narzuca swoje zdanie. Dominacja jednego (lub kilku) członka grupy może spowodować wycofanie się pozostałych osób z aktywnego

uczestnictwa i tym samym zatracą się idea grupowego podejmowania decyzji.

#### 4. Konkurencja między decyzjami

Pojawienie się kilku alternatywnych kierunków działania często powoduje, że członkowie grupy dążą do wyboru zgodnego z ich

preferencjami. Dominacja własnych preferencji nad dążeniem do znalezienia najlepszego rozwiązania prowadzi do kompromisowej decyzji o

niskiej jakości.

#### 5. Czas potrzebny na proces decyzyjny

„Gdyby Mojżesz miał radę doradczą to Izraelici po dziś dzień tkwiliby w Egipcie”. Jedna osoba jest w stanie podjąć samodzielną decyzję dużo szybciej niż grupa. Grupa musi się naradzić, przedyskutować wszystkie możliwości. Jeśli ten proces nie jest odpowiednio moderowany to rozmowy mogą trwać w nieskończoność.

#### 6. Polaryzacja grupowa

To tendencja grup do podejmowania bardziej skrajnych niż początkowo członkowie zakładali indywidualnie. Dla przykładu zdarza się, że rada przysięgłych w sądzie po dyskusji jest skłonna wydać wyrok znacznie wyższy lub niższy niż którykolwiek z członków proponował przed debatą.

## 2.6. Model klasyczny

Według Roberta Harrisa podejmowanie decyzji to identyfikacja i wybór alternatywnych rozwiązań w oparciu o wartości i preferencje decydentów. Z podjęcia decyzji wynika fakt istnienia różnych alternatyw do rozważenia i w takim przypadku należy nie

tylko zidentyfikować jak najwięcej opcji, ale również wybrać tą jedyną, która pasuje do naszych celów, pragnień, wartości i tym podobnych. (bibliografia)

W związku z powyższym można zdefiniować klasyczny i najprostszy proces podejmowania decyzji grupowej, jak również indywidualnej.

**Krok 1 - definicja problemu** Celem jest wyrażenie problemu w sposób jasny posługując się regułą „one-sentence problem”, czyli za pomocą jednego zdania, tak aby opisać zarówno warunki początkowe jak i pożądane efekty. Oczywiście limit „jedno zdanie” w praktyce zostanie w wielu przypadkach przekroczony, szczególnie w przypadku bardzo złożonych problemów decyzyjnych. Mimo wszystko definicja problemu musi być zwięzła i uzgodniona przez wszystkich decydentów. Nawet jeśli może to być długi, iteracyjny proces, to jest to ważny i konieczny punkt przed przejściem do następnego kroku.

**Krok 2 - określenie wymagań** Wymagania są to warunki, które wszystkie dopuszczalne rozwiązania problemu muszą spełniać. W postaci matematycznej, wymagania to są ograniczenia określające zbiór możliwych (dopuszczalnych) rozwiązań problemu decyzyjnego. Bardzo ważne jest, że nawet jeśli w kolejnych krokach mogą wystąpić subiektywne lub sporne oceny to ewentualne rozwiązanie musi być rozstrzygalne jednoznacznie, albo spełnia wymagania albo nie.

**Krok 3 - ustanowienie celów** Cele wykraczają poza niezbędne minimum które musi spełniać rozwiązanie, czyli wymagania. Są to szeroko pojęte potrzeby i pragnienia. Mogą być ze sobą sprzeczne, co jest naturalne w praktycznych sytuacjach decyzyjnych.

**Krok 4 - identyfikacja alternatyw** Alternatywy oferują różne podejścia zmiany stanu początkowego w stan pożądany. Są to możliwe rozwiązania postawionego problemu które bezwzględnie muszą spełniać zdefiniowane wcześniej wymogi. Nie tracąc na ogólności w dalszych rozważaniach przyjmuje się, że zbiór alternatyw jest skończony.

**Krok 5 - zdefiniowanie kryteriów oceny** Kryteria decyzyjne, które będą dyskryminować alternatywy, muszą opierać się na celach. Konieczne jest określenie kryteriów dyskryminacyjnych jako mierników sprawdzających w jakim stopniu każda alternatywa osiąga cele. Wynika z tego, że każdy cel reprezentowany jest formie kryteriów i każdy cel musi generować przynajmniej jedno kryterium. W przypadku bardzo dużej ilości kryteriów pomocne jest podzielenie ich w zestawy (na przykład tematyczne). Według Baker et al. [6] kryteria powinny być:

- w stanie dyskryminować alternatywy i wspierać ich porównywanie
- pokrywać wszystkie cele

- sensowne i operacyjne
- nieredundantne
- nieliczne

Warto wspomnieć, że niektórzy autorzy posługują się słowem atrybut, zamiast kryterium. Atrybut jest czasem również używany do określenia wymiernego kryterium.

**Krok 6 - wybór narzędzia wspierającego podejmowanie decyzji** Obecnie dostępnych jest wiele narzędzi wspierających podejmowanie decyzji. Wiele z nich to na przykład materiały ułatwiające głosowanie lub usprawniające cały proces. Można też skorzystać z dostępnego oprogramowania, niestety w większości przypadków są to systemy płatne.

**Krok 7 - ocena alternatyw względem przyjętych kryteriów** Każda poprawna metoda podejmowania decyzji potrzebuje, jako dane wejściowe, metody oceny alternatyw względem kryteriów. W zależności od przyjętych kryteriów, ocena może być obiektywna, czyli odnosić się do powszechnie przyjętych i rozumianych skali pomiaru (np. pieniądze) lub subiektywna (sędzia), co odzwierciedla subiektywną ocenę decydenta. Po dokonaniu oceny, wybrane narzędzie podejmowania decyzji może uporządkować alternatywy lub wybrać podzbiór rozwiązań najbardziej obiecujących.

**Krok 8 - weryfikacja rozwiązań względem postawionego problemu** Zbiór alternatyw wybrany przez narzędzie zawsze musi zostać zweryfikowany pod kątem wymagań i celów problemu decyzyjnego. Zdarza się, że zostało wybrane niewłaściwe narzędzie. Może się również okazać, że decydenci mogą dodać lub zmienić cele i wymagania.

# Rozdział 3

## Modelowanie grupowego podejmowania decyzji

Proces podejmowania decyzji, polegający na wybieraniu najlepszej opcji z zestawu możliwych, jest obecny w niemal każdym możliwym zadaniu człowieka. Z tego powodu, badania nad podejmowaniem decyzji są konieczne i ważne nie tylko w teorii decyzji, ale również w takich dziedzinach jak zarządzanie, badania operacyjne, polityka, psychologia społeczna, sztuczna inteligencja, soft computing i tak dalej. Oczywiście jest, że porównywanie różnych działań w zależności od ich zalet, w wielu przypadkach, jest niemożliwe do osiągnięcia przy pomocy jednego kryterium lub jednej osoby. Dlatego też, proces decyzyjny rozpatrywany jest jako grupowe podejmowanie decyzji.

Niezaprzeczalnym faktem jest, że problemy stawiane grupie w większości pochodzą z życia wziętych sytuacji. W tych problemach jest do dyspozycji zbiór alternatyw rozwiązujących problem oraz grupa ekspertów, cechująca się doświadczeniem i wiedzą, która stara się osiągnąć wspólne rozwiązanie. Aby rozwiązać problem, eksperci muszą przejść przez dwa etapy: proces osiągnięcia konsensusu oraz proces selekcji.

W poniższym rozdziale te dwa etapy zostaną dokładnie opisane. Przedstawiony będzie model iteracyjny, który wykorzystuje proces osiągnięcia konsensusu i proces selekcji. Na końcu wprowadzone zostaną elementy dynamiki, które mogą pojawić się w procesie podejmowania decyzji oraz propozycje poradzenia sobie z tym.

### 3.1. Model iteracyjny

W grupowym podejmowaniu decyzji można wyróżnić dwa procesy prowadzące do uzyskania ostatecznego rozwiązania: proces osiągnięcia konsensusu oraz proces selekcji. Pierwszy zajmuje się osiągnięciem maksymalnie najwyższego porozumienia pomiędzy ekspertami. Zwykle proces ten prowadzony jest przez tak zwanego moderatora i jest wykonywany przed procesem selekcji. Proces porozumienia jest bardzo



ważnym krokiem, ponieważ wspomaga uzyskanie rozwiązań o wysokim stopniu konsensusu wśród ekspertów, co zazwyczaj jest pożądaną własnością. Drugi proces odnosi się do sposobu uzyskania zbioru alternatyw jako rozwiązań z opinii oraz ocen każdej z alternatyw przedstawionych przez ekspertów.

### 3.1.1. Definicja problemu

Przed przystąpieniem do poszczególnych kroków trzeba formalnie zdefiniować problem. Z punktu widzenia modelu, nie jest to opis czy postawione pytanie. Typowy wieloosobowy, wielokryteriowy problem składa się z następujących elementów:

**Zbiór alternatyw**  $\mathcal{X} = \{x_1, \dots, x_n\}$ . Zbiór  $\mathcal{X}$  odpowiada skończonej i dyskretniej liście więcej niż jednej możliwości. Odpowiednie właściwości (lub atrybuty) każdej alternatywy mogą być ilościowe lub jakościowe.

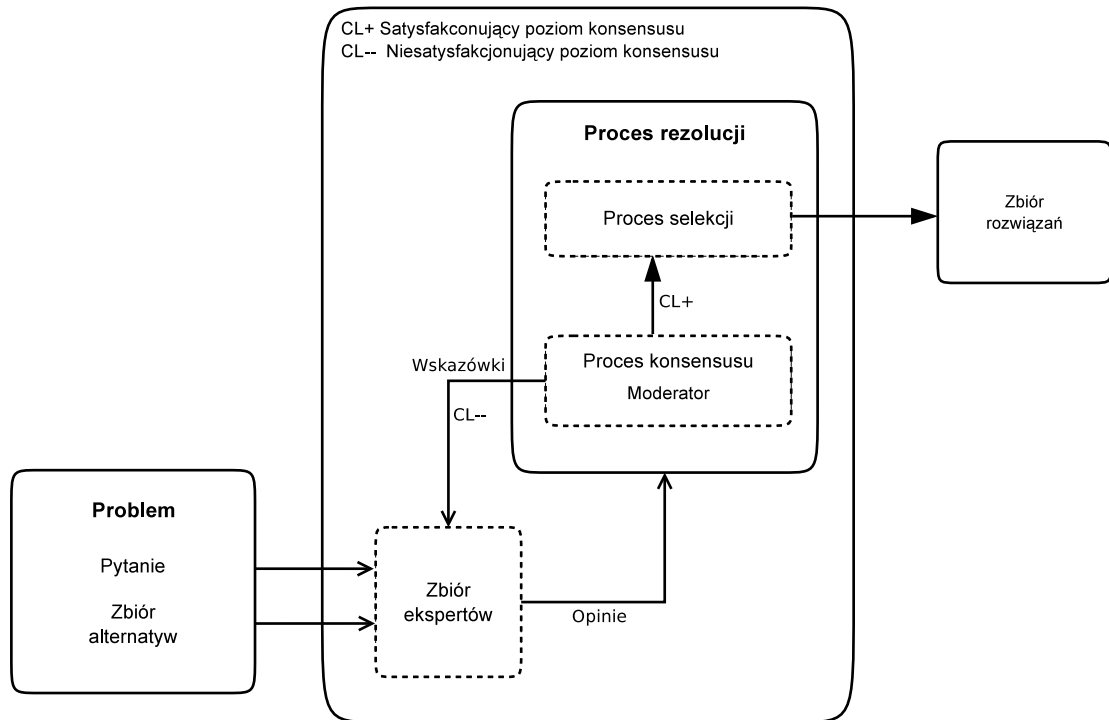
**Zbiór kryteriów**  $\mathcal{C} = \{c_1, \dots, c_n\}$ . Zbiór  $\mathcal{C}$  zawiera dwa lub więcej kryteriów. Każdemu kryterium odpowiada punkt widzenia, zgodnie z którym alternatywy są oceniane i porównywane. Mogą one mieć charakter ilościowy lub jakościowy i posiadać większą lub mniejszą wagę dla decyzji.

**Zbiór decydentów**  $\mathcal{E} = \{e_1, \dots, e_n\}$ . Zbiór  $\mathcal{E}$  zawiera więcej niż jednego eksperta. Zazwyczaj każdy z ekspertów ma własną perspektywę, motywację i priorytety, które mogą prowadzić do sprzecznych opinii i preferencji. Ponadto każdy decydent odgrywa rolę w procesie decyzyjnym, która jest określana przez stopień wiedzy, doświadczenia oraz intuicji w danej sprawie.

### 3.1.2. Proces porozumienia (konsensusu)

Typowy proces porozumienia widoczny jest na rysunku 3.1.1. Jest on zdefiniowany jako dynamiczny proces iteracyjny i obejmuje następujący skończony zbiór kroków:

1. Problem oraz zbiór możliwych alternatyw przedstawiane są ekspertom.
2. Eksperti przedstawiają moderatorowi swoje preferencje przy użyciu określonego sposobu reprezentacji preferencji.
3. Kiedy wszyscy przedstawiają swoje preferencje, moderator sprawdza czy poziom konsensusu wśród wszystkich ekspertów jest wystarczająco wysoki.
4. i) Jeśli poziom konsensusu jest wystarczająco wysoki to proces się kończy i przechodzi do procesu selekcji (krok 6).



Rys. 3.1.1: Procesy w grupowym podejmowaniu decyzji

- ii) Jeśli poziom konsensusu nie jest wystarczająco wysoki to moderator udziela ekspertom wskazówek tak, aby mogli zmienić swoje preferencje i osiągnąć konsensus.
5. Biorąc pod uwagę zalecenia moderatora, eksperci zmieniają swoje preferencje co do alternatyw i rozpoczyna się nowa runda procesu (krok 2).
6. Przejście do procesu selekcji i obliczenie ostatecznego rozwiązania.

Warto zwrócić uwagę, że tak zdefiniowany proces konsensusu może przypominać klasyczną metodę delficką. Jednakże istnieje kilka istotnych różnic:

- W metodzie delfickiej ostatecznym celem jest prognozowanie, podczas gdy powyższe podejście próbuje znaleźć najlepszą alternatywę z zestawu możliwych.
- Zamiast kwestionariuszy, eksperci wyrażają swoje preferencje za pomocą pewnych konkretnych formatów reprezentacji preferencji.
- Metoda delficka zakłada anonimowość uczestników, natomiast w proponowanym modelu nie ma takiego ograniczenia.

W przedstawionym modelu bardzo ważna jest rola moderatora. W dalszej części pracy zostaną przedstawione narzędzia pozwalające zredukować jego pracę, a na-

wet go zastąpić. Kolejnym ważnym elementem jest sposób przedstawienia preferencji ekspertów. Temu tematowi poświęcony jest osobny rozdział.

### 3.1.3. Proces selekcji

Etap ten na wejściu dostaje oceny wszystkich ekspertów i jest odpowiedzialny za podanie kolejności rozwiązań. Proces selekcji można różnie definiować, w zależności od dokładnego umiejscowienia w modelu oraz zakresu odpowiedzialności procesu konsensusu. Zgodnie z Chiclana et al. [7] proces selekcji jest podzielony na dwie fazy:

1. Faza agregacji

Faza ta definiuje globalne preferencje pomiędzy alternatywami wykorzystując do tego techniki agregacji.

2. Faza eksploatacji

Faza ta przekształca zagregowaną globalną informację o preferencjach względem alternatyw w globalny ranking. Sposób ustalenia rankingu jest dowolny i zależy od przyjętych technik reprezentacji preferencji i agregacji.

### 3.1.4. Moderator i mechanizm informacji zwrotnej

Moderator jest osobą niebiorącą udziału w dyskusji w sposób bezpośredni. Jego zadaniem jest kierowanie grupą, analizowanie wyników głosowań i na ich podstawie wpływanie na opinie ekspertów tak, aby został osiągnięty jak największy stopień konsensusu. Jak część modelu wprowadzony zostaje mechanizm informacji zwrotnej, który ma zastąpić osobę moderatora i zautomatyzować proces. Mechanizm składa się z kilku prostych zasad, które generują rekomendacje dla ekspertów. Aby to osiągnąć, wykorzystywane są miary przybliżone w połączeniu ze stopniem konsensusu. Na końcu, porady muszą zostać przedstawione w sposób czytelny dla człowieka, żeby eksperci mogli je wykorzystać do zmiany swoich poglądów.

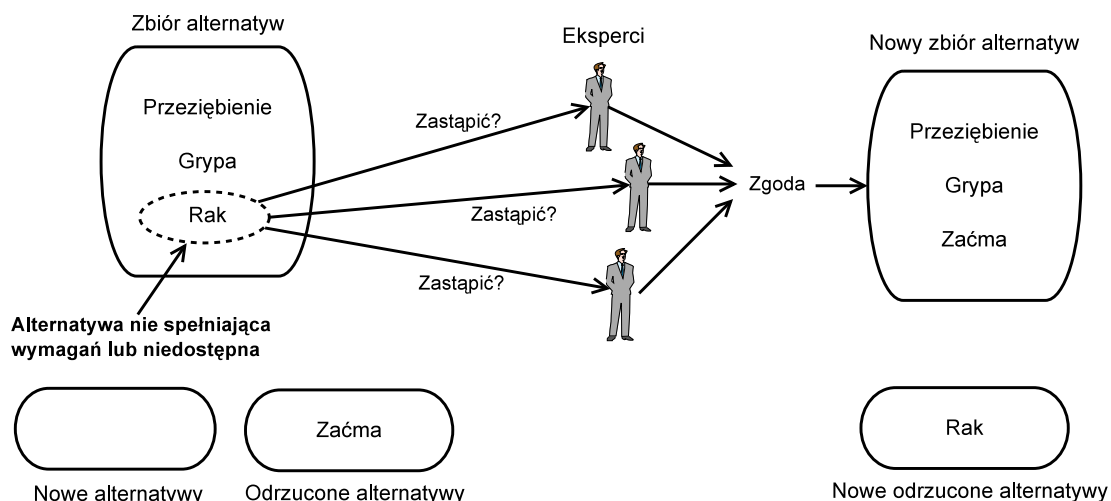
## 3.2. Dynamika: zbiór alternatyw

Zazwyczaj metody rozwiązywania problemów grupowych są statyczne. Oznacza to założenie, że liczba alternatyw oraz ekspertów przez cały proces decyzyjny jest stała. Jednak w rzeczywistych sytuacjach okazuje się, że proces może być dynamiczny.

Szczególnie częstym zjawiskiem jest dynamika zbioru alternatyw. Typowym przykładem takiej sytuacji jest diagnoza lekarska. Środowisko to jest dynamiczne w tym sensie, że pacjent może przedstawić nowe objawy lub mógł poczuć się lepiej ze

względu na przyjmowane leki, a więc każda zmiana stanu pacjenta powinna być brana pod uwagę przez lekarzy.

Aby proces decyzyjny stał się bardziej realistyczny, należy zdefiniować metodę, która pozwala usunąć i wstawić nowe alternatywy do procesu dyskusji. Ze względu na chęć wyeliminowania osoby moderatora, metoda ta powinna być maksymalnie zautomatyzowana.

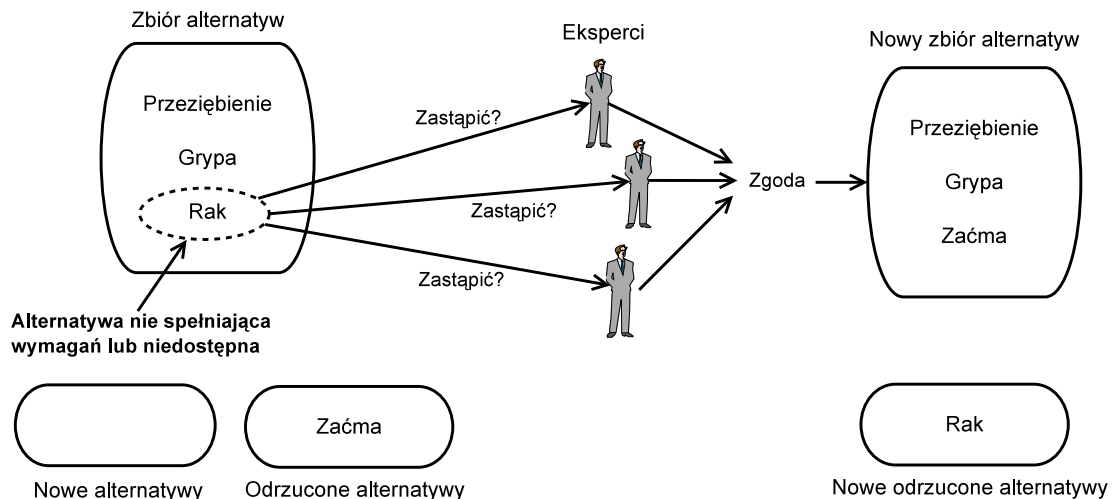


Rys. 3.2.1: Dynamika alternatyw: Usunięcie

Wpierw, system identyfikuje rozwiązania najgorsze ze względu na oceny ekspertów, które mogą zostać usunięte. Następnie szuka nowych, które może dołączyć. Nowe alternatywy można uzyskać z propozycji, które pojawiły się w trakcie dyskusji albo ze zbioru rozwiązań, które były dostępne od samego początku, ale nie zostały ujęte w dyskusji ze względu na nie spełnienie początkowych kryteriów problemu. Istnieje też możliwość ponownego włączenia do dyskusji alternatyw wcześniej usuniętych. Wyraźnie widać, że metoda dzieli się na dwie fazy: usunięcie nieaktualnych i złych alternatyw (rysunek 3.2.1) oraz dodanie nowych alternatyw (rysunek 3.2.2). W tak zdefiniowanej metodzie moderator jest zastąpiony przez system oraz samych decydentów, którzy muszą być informowani o zmianach i je akceptować.

### 3.3. Dynamika: zbiór ekspertów

Kolejnym aspektem jest dynamiczny zbiór ekspertów. Przykładem może być grupa lekarzy, którzy na pewnym etapie badań nie są w stanie postawić diagnozy i proszą o konsultację z innym lekarzem lub lekarzami, którzy mogą mieć większe doświadczenie w danej dziedzinie. Innym przykładem jest sytuacja, w której członek grupy decydentów w firmie przebywał na urlopie i wraca do pracy w trakcie trwania procesu decyzyjnego. Może się również zdarzyć, że jeden z członków odchodzi z zespołu lub



Rys. 3.2.2: Dynamika alternatyw: Dodanie

na jakiś czas wyłącza się z dyskusji. Oba przypadki, dodanie oraz usunięcie decydenta, powinny być wspierane przez system podejmowania decyzji i należy je rozpatrywać osobno.

W przypadku pojawienia się nowego eksperta należy zastanowić się nad kilkoma rzeczami. Po pierwsze, taka osoba powinna zostać zaakceptowana przez grupę. Jedną z możliwości jest wysłanie zaproszenia przez jednego z członków. Takie zaproszenie powinno wcześniej zostać zatwierdzone przynajmniej przez większość grupy. Druga możliwość to chęć dołączenia do procesu ze strony nowej osoby bez wiedzy grupy. W tym przypadku, system musi informować grupę o zaistniałej sytuacji i czekać na informację zwrotną w sposób analogiczny do akceptacji zaproszenia. Następny krok to zapoznanie z problemem i aktualnym stanem procesu decyzyjnego. Ponownie istnieją dwie opcje: ujawnienie danych historycznych lub nie. Jeżeli historia procesu jest niejawną (grupa może oczekiwać od nowej osoby świeżego spojrzenia) to system przedstawia tylko aktualny zestaw alternatyw. Jeżeli jednak z jakiś powodów przebieg dyskusji musi być jawny (na przykład historia pacjenta i analiza możliwych przyczyn choroby) to system musi przedstawić historię głosowań oraz zestawienie dodanych i odrzuconych alternatyw. W tym celu można wykorzystać mechanizm informacji zwrotnej.

Kiedy ekspert odchodzi z grupy sytuacja jest dużo prostsza: system w kolejnej turze nie czeka na dane od takiej osoby. Ciekawszy przypadek to tymczasowe wycofanie się z procesu decyzyjnego. Członek grupy może zgłosić, że przez nieokreślony czas nie będzie głosował ani brał udziału w dyskusji. Mimo tego system powinien w dalszym ciągu informować o aktualnym stanie procesu. W tej pracy omawiane są szczególnie mobilne podejmowanie decyzji. Pociąga to za sobą spadek dynamiki procesu, ponieważ nie każdy z członków może brać czynny udział w dyskusji w tym sa-

mym momencie. Pomysłem jest umówienie się, że na głosowanie każdy z członków ma na przykład 24 godziny. Jeśli do tego czasu większość ekspertów udzieli odpowiedzi, to pozostali zostaną potraktowani tak, jakby tymczasowo się wycofali. Grupa sama musi zdecydować co oznacza większość (np. brak jednej osoby, dwóch albo zero) oraz ile czasu jest na odpowiedzi. Takie podejście zapobiega sztucznemu spowalnianiu procesu.

# Rozdział 4

## Modelowanie rozmyte

Od momentu zapoczątkowania przez Loftiego Zadeha w 1965 roku w artykule „Fuzzy sets”, teoria zbiorów rozmytych odniosła sukcesy w różny sposób w wielu dyscyplinach. Zastosowania tej teorii można znaleźć na przykład w sztucznej inteligencji, medycynie, systemach eksperckich, logice, zarządzaniu, rozpoznawaniu wzorców, robotyce i teorii decyzji. Matematyczny rozwój osiągnął bardzo wysoki poziom i jest wciąż poszerzany.

Dynamiczny rozwój, początkowo niezauważonej teorii, nastąpił w drugiej połowie lat 70-tych rozwiązaniem problemu sterowania piecem do wytwarzania cementu wykorzystując logikę rozmytą (Mamdani). Jednak dopiero udane implementacje w Japonii zapoczątkowały zainteresowanie na szeroką skalę. Do najgłośniejszych sukcesów należy opracowanie układu sterowania metrem w mieście Sendai. Dzięki wnioskowaniu rozmytym udało się zmniejszyć czasy opóźnień oraz koszty utrzymania.

W ciągu ostatnich dekad teoria zbiorów rozmytych rozwinęła się w dwóch liniach:

- 1) Jako formalna teoria, która stała się bardziej wyrafinowana i została powiększona o szereg oryginalnych pomysłów i koncepcji, które obejmują obszary klasycznej matematyki (m. in. algebra, teoria grafów, topologia) uogólniając je lub „rozmywając”.
- 2) Jako zorientowana na zastosowania „rozmyta technologia”, czyli narzędzie do między innymi modelowania, rozwiązywania problemów, data mining. W wielu przypadkach udowodnione przewagę zbiorów rozmytych nad istniejącymi metodami, a w innych okazały się one atrakcyjnym dodatkiem do klasycznych rozwiązań.

Poniższy rozdział stanowi krótkie wprowadzenie do teorii zbiorów rozmytych. Zostaną również wprowadzone elementy teorii wykorzystywane przy podejmowaniu decyzji i niezbędne do zrozumienia dalszej części pracy. Na samym końcu przedstawione zostaną kilka przykładów zastosowań logiki rozmytej przy grupowym podejmowaniu decyzji.

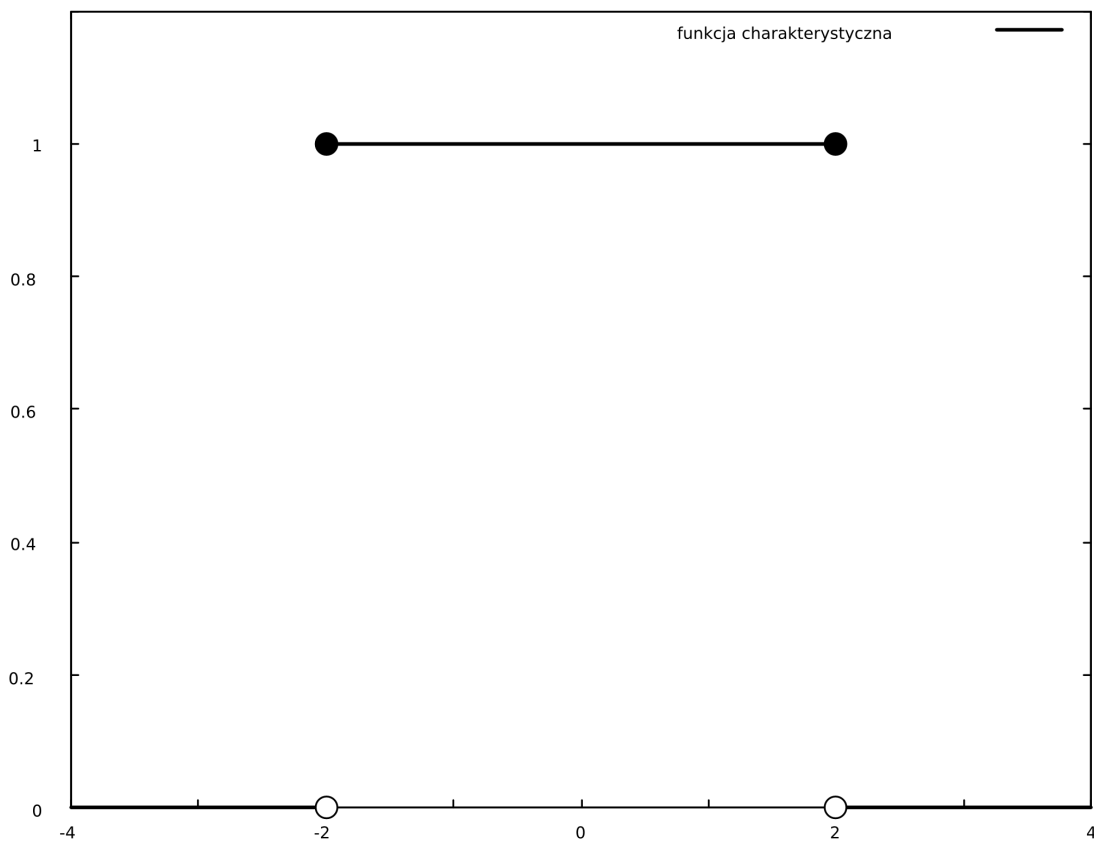
## 4.1. Elementy teorii zbiorów rozmytych

### 4.1.1. Podstawowe definicje

Podstawowym pojęciem opisywanej teorii jest zbiór rozmyty. W klasycznej teorii zbiorów, z każdym zbiorem  $A$  powiązana jest *funkcja charakterystyczna*

$$\mathcal{X}_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{gdy } x \notin A, \\ 1, & \text{gdy } x \in A, \end{cases}$$

która dla dowolnego elementu  $x$  w uniwersum  $\mathcal{X}$  przyjmuje wartość 1, jeśli  $x$  należy do zbioru  $A$ , oraz 0 w przeciwnym przypadku. Przykładowy wykres funkcji charakterystycznej przedstawiony jest na rysunku 4.1.1. Dla odróżnienia, zbiór rozumiany w sposób klasyczny będzie nazywany zbiorem ostrym.



Rys. 4.1.1: Funkcja charakterystyczna dla zbioru  $x \in \mathcal{R} : -2 \leq x \leq 2$

Powyższa definicja mówi o tym, że jakiś element należy do zbioru lub nie. Jednak czy w „realnym życiu” zawsze możliwe jest jednoznaczne określenie, że coś podoba się w 100% lub nie? Albo czy coś jest zawsze w 100% prawdą? W życiu codziennym na pytanie „Czy to miejsce Ci się podoba?”, prócz odpowiedzi „tak” i „nie”, bardzo często można usłyszeć: nie do końca, może być, nie bardzo, jest super, zdecydowanie



nie. Każda z tych odpowiedzi opisuje stopień podobania się. Można się dowiedzieć na przykład, że pytanej osobie dane miejsce się nie podoba, ale jest skłonna tam pójść.

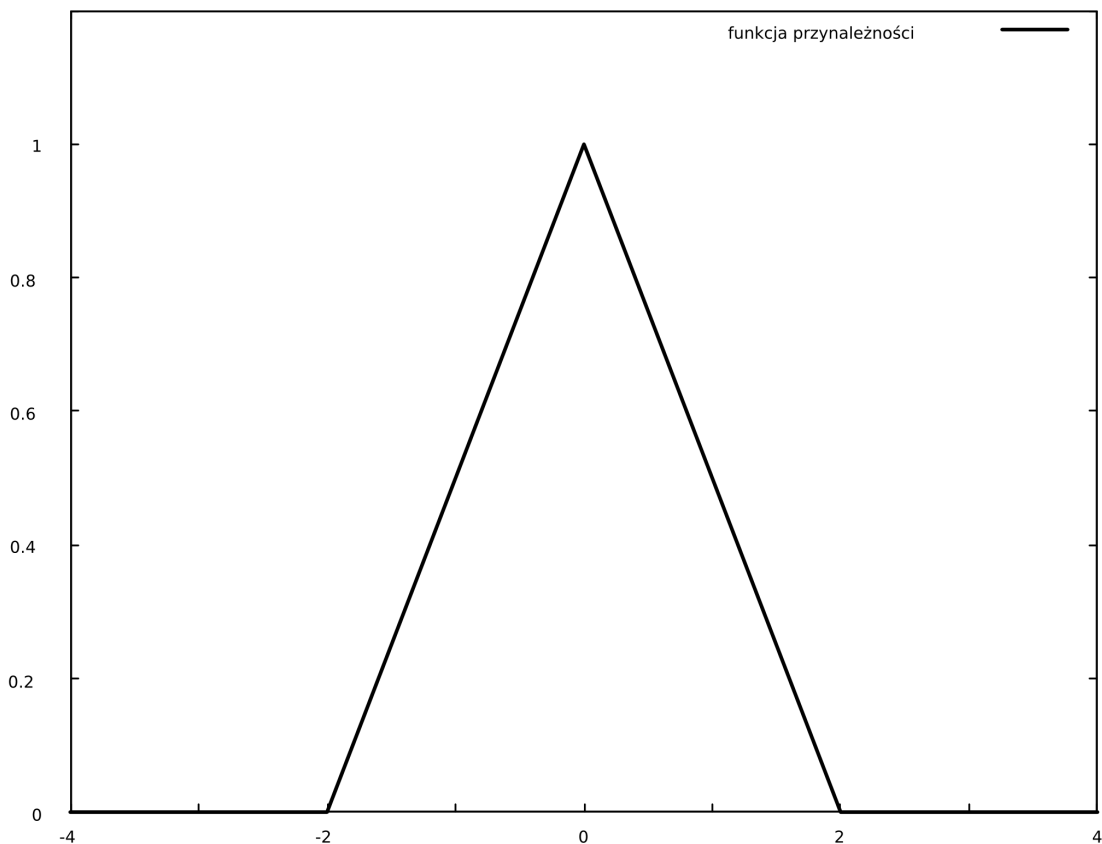
Pomimo tego, że człowiek doskonale radzi sobie z odpowiedziami typu: „bardzo”, „około”, „mało”, „mniej więcej”, itp. to próba ich wyrażenia za pomocą tradycyjnych zbiorów skazana jest na porażkę. Obserwacja ta była podstawą dla Zadeha wprowadzenia pojęcia zbioru nieostrego (rozmytego).

**Definicja 4.1** (Zbiór rozmyty). Jeżeli  $\mathcal{X}$  jest kolekcją obiektów to zbiór rozmyty  $A$  w przestrzeni  $\mathcal{X}$  określa się jako zbiór (klasyczny) par uporządkowanych

$$A = \{(x, \mu_A(x)) : x \in \mathcal{X}\}, \quad (4.1.1)$$

gdzie  $\mu_A$  jest funkcją przynależności zbioru rozmytego  $A$  oraz  $\mu_A(x) \in [0, 1]$  nazywany jest stopniem przynależności elementu  $x$  do zbioru rozmytego  $A$ . Tak zdefiniowany zbiór rozmyty jest tożsamy z funkcją przynależności, gdyż ta zgodnie z teorią mnogości określona jest jako zbiór par uporządkowanych.

Przykładową funkcję przynależności opisującą sformułowanie „około zera” można zaprezentować jak na rysunku 4.1.2.



Rys. 4.1.2: Przykładowa funkcja przynależności

Ze zbiorami rozmytymi wiąże się kilka przydatnych pojęć przedstawionych poniżej.

**Definicja 4.2** (Nośnik zbioru). Niech  $A : X \rightarrow [0, 1]$ . Zbiór:

$$\text{supp}(A) = \{x \in X : A(x) > 0\}. \quad (4.1.2)$$

nazywamy *nośnikiem* (ang. support) zbioru nieostrego. Nośnik zbioru to inaczej zbiór tych elementów  $x$ , które mają znaczenie dla  $A$ .

**Definicja 4.3.** Niech  $A : X \rightarrow [0, 1]$ .

- *t-przekrojem* i *jądrem*  $A$  nazywa się odpowiednio zbiory  $A_t = \{x \in X : A(x) \geq t\}$  i  $\ker(A) = A_1$ .
- Mówimy, że  $A$  jest *skończony*, gdy  $\text{supp}(A)$  jest zbiorem skończonym, a w przeciwnym przypadku  $A$  nazywamy *nieskończonym* zbiorem nieostrym.
- Jeżeli  $\ker(A) \neq \emptyset$ , mówimy, że  $A$  jest *normalny*, a w przeciwnym przypadku  $A$  nazywamy *podnormalnym* lub *subnormalnym*.
- Jeśli  $|\text{supp}(A)| = 1$ ,  $A$  nazywamy *singletonem*.

*Normalny* zbiór rozmyty nakłada ograniczenie na funkcję przynależności, które z punktu widzenia teorii jest nieistotne, jednakże w zastosowaniach praktycznych okazuje się bardzo przydatne. Jeżeli zbiór rozmyty  $A$  jest normalny to wartość funkcji przynależności można interpretować jako procent na ile dany element  $x$  należy do  $A$ .

Jednym z ważniejszych pojęć zbiorów rozmytych wykorzystywanym przy modelowaniu podejmowania decyzji jest *zmienna lingwistyczna*. Rozważmy zdania:

*Tamto drzewo jest wysokie.*

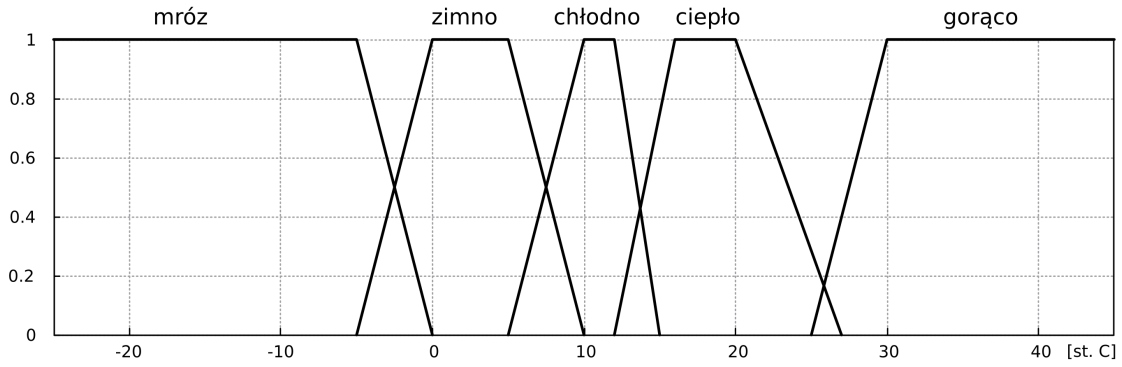
*Ta książka jest droga.*

W pierwszym zdaniu atrybutem drzewa jest jego wysokość. Atrybut ten przyjmuje wartość „wysokie”. W drugim przykładzie atrybutem książki jest cena, której wartość to „droga”. Sposób pojmowania tych wartości lingwistycznych może być różny dla różnych osób, dlatego każda taka wartość charakteryzowana jest zbiorem rozmytym.

**Definicja 4.4.** Zmienną lingwistyczną nazywamy czwórkę  $(N, X, T, M_N)$ , gdzie

$N$	nazwa zmiennej (np. <i>wiek</i> ),
$X$	przestrzeń rozważań (np. $[0, 125]$ lat),
$T$	zbiór wartości lingwistycznych (terminów) (np. {młody, średni, stary}),
$M_N$	funkcja semantyczna $M_N : T \rightarrow$ zbiór funkcji przynależności.

Na rysunku 4.1.3 pokazane są przykładowe funkcje przynależności dla zbioru terminów {mróz, zimno, chłodno, ciepło, gorąco} zmiennej lingwistycznej o nazwie „temperatura”. W tym przypadku przestrzenią rozważań są stopnie Celsjusza od  $-25$  do  $45$  stopni.



Rys. 4.1.3: Funkcje przynależności dla zmiennej lingwistycznej „temperatura”

#### 4.1.2. Operacje na zbiorach rozmytych

W klasycznej teorii mnogości podstawowe operacje na zbiorach to: dopełnienie, suma, iloczyn. Nie inaczej jest w przypadku zbiorów rozmytych, ale wszystkie te operacje można zdefiniować na wiele sposobów.

W swojej pierwszej publikacji, Zadeh zdefiniował podstawowe operacje, generalizujące operacje dla zbiorów ostrych, w następujący sposób:

**Definicja 4.5.** Dopełnienie zbioru rozmytego  $A$  określa się jako zbiór rozmyty, którego funkcja przynależności dana jest w następujący sposób:

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x). \quad (4.1.3)$$

**Definicja 4.6.** Suma dwóch zbiorów rozmytych  $A$  i  $B$  określa się jako zbiór rozmyty, którego funkcja przynależności dana jest w następujący sposób:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)). \quad (4.1.4)$$

**Definicja 4.7.** Iloczyn dwóch zbiorów rozmytych  $A$  i  $B$  określa się jako zbiór rozmyty, którego funkcja przynależności dana jest w następujący sposób:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)). \quad (4.1.5)$$

Powyższe definicje sumy i przekroju, mimo swej powszechności i intuicyjności, nie są jedynym sposobem zdefiniowania tych operacji. Rozróżnia się dwie rodziny funkcji, które dzięki spełnieniu pewnych warunków, mogą zastąpić operację maksimum i minimum w definicjach, odpowiednio, sumy i przekroju zbiorów rozmytych.

**Definicja 4.8 (t-norma).** Funkcję  $t : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$  nazywamy *normą triangu-larną* (krótko: *t-normą*) jeżeli:

- funkcja  $t$  jest monotoniczna

$$a \leq b \Rightarrow t(a, c) \leq t(b, c),$$

- funkcja  $t$  spełnia warunek przemienności

$$t(a, b) = t(b, a),$$

- funkcja  $t$  spełnia warunek łączności

$$t(a, t(b, c)) = t(t(a, b), c),$$

- funkcja  $t$  spełnia warunki brzegowe

$$t(a, 0) = 0 \text{ oraz } t(a, 1) = a,$$

gdzie  $a, b, c \in [0, 1]$ .

Najczęściej spotykane t-normy to:

- minimum

$$t(a, b) = \min(a, b),$$

- iloczyn algebraiczny

$$t(a, b) = a \cdot b,$$

- t-norma Łukasiewicza

$$t(a, b) = \max(0, a + b - 1).$$

**Definicja 4.9** (t-konorma). Funkcję  $s : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$  nazywamy *konormą trójkątną* (krótko: *t-konormą*) jeżeli:

- funkcja  $s$  jest monotoniczna

$$a \leq b \Rightarrow s(a, c) \leq s(b, c),$$

- funkcja  $s$  spełnia warunek przemienności

$$s(a, b) = s(b, a),$$

- funkcja  $s$  spełnia warunek łączności

$$s(a, s(b, c)) = s(s(a, b), c),$$

- funkcja  $s$  spełnia warunki brzegowe

$$s(a, 0) = a \text{ oraz } s(a, 1) = 1,$$

gdzie  $a, b, c \in [0, 1]$ .

Najczęściej spotykane t-konormy to:

- maksimum

$$s(a, b) = \max(a, b),$$

- suma probabilistyczna

$$s(a, b) = a + b - ab,$$

- t-konorma Łukasiewicza

$$s(a, b) = \min(a + b, 1).$$

Ogólne przecięcie i sumę zbiorów rozmytych definiuje się jako:

$$\mu_{A \cap B}(x) = t(\mu_A(x), \mu_B(x)),$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = s(\mu_A(x), \mu_B(x)).$$

Przedstawione operacje na zbiorach rozmytych mają własności przemienności, łączności i rozdzielności, zachodzą również prawa de Morgana. Jest to przydatne w zastosowaniach praktycznych, jednak w ogólności:

$$A \cap \bar{A} \neq \emptyset \text{ i } A \cup \bar{A} \neq \mathcal{X}.$$

### 4.1.3. Relacja rozmyta

Relacje rozmyte pozwalają sformalizować nieprecyzyjne sformułowania typu „ $x$  jest prawie równe  $y$ ” lub „ $x$  jest znacznie większe od  $y$ ”.

**Definicja 4.10** (Relacja rozmyta). Relację rozmytą  $\mathcal{R}$  między dwoma niepustymi zbiorami ostrymi  $X$  i  $Y$  nazywamy zbiór rozmyty określony na iloczynie kartezjańskim  $X \times Y$ , tzn.

$$\mathcal{R} \subseteq X \times Y = \{(x, y) : x \in X, y \in Y\}.$$

Innymi słowy relacja rozmyta jest zbiorem par

$$\mathcal{R} = \{((x, y), \mu_{\mathcal{R}}(x, y)) : x \in X, y \in Y\}, \quad (4.1.6)$$

gdzie  $\mu_{\mathcal{R}} : X \times Y \rightarrow [0, 1]$  jest funkcją przynależności. Funkcja ta każdej parze  $(x, y)$  przypisuje jej stopień przynależności  $\mu_{\mathcal{R}}(x, y)$ , który ma interpretację siły powiązania między elementami  $x$  i  $y$ .

**Przykład 4.1.** Dana są przestrzenie rozważań  $X = \{x_1, x_2, x_3\} = \{3, 4, 5\}$ ,  $Y = \{y_1, y_2, y_3\} = \{4, 5, 6\}$  oraz relacja  $\mathcal{R} \subseteq X \times Y$  interpretowana jako „ $y$  jest mniej więcej równa  $x$ ”. Niech relację  $\mathcal{R}$  reprezentuje macierz  $[a_{ij}]$ , gdzie wartość  $a_{ij}$  oznacza stopień powiązania między elementami  $x_i$  i  $y_j$ :

$$A = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.6 & 0.4 \\ 1 & 0.8 & 0.6 \\ 0.8 & 1 & 0.8 \end{pmatrix}.$$

Równoważnie można zapisać:

$$A = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli } x = y, \\ 0.8, & \text{jeżeli } |x - y| = 1, \\ 0.6, & \text{jeżeli } |x - y| = 2, \\ 0.4, & \text{jeżeli } |x - y| = 3. \end{cases}$$

#### 4.1.4. Operatory agregacji

Wiadomo już jak sumować zbiory rozmyte, jak tworzyć ich przecięcie oraz jak definiuje się relacje. Z punktu widzenia poniższej pracy niezwykle przydatna jest możliwość agregacji danych. Mając zebrane dane o preferencjach ekspertów w postaci zbiorów rozmytych, należy zebrać je w jedność w celu zbadania poziomu konsensusu.

**Definicja 4.11.** *Operatorem agregacji* nazywamy odwzorowanie

$$Agr : \cup_{n \geq 1} [0, 1]^n \rightarrow [0, 1],$$

spełniające następujące warunki:

- monotoniczność  $Agr(a_1, a_2, \dots, a_n) \leq Agr(b_1, b_2, \dots, b_n)$ , gdy  $a_i \leq b_i$  dla  $i = 1, 2, \dots, n$ ,
- warunek identyczności  $Agr(a) = a$  dla każdego  $a \in [0, 1]$ ,
- warunki brzegowe  $Agr(0, \dots, 0) = 0$ ,  $Agr(1, \dots, 1) = 1$ .

Jednymi z najbardziej popularnych i najczęściej wykorzystywanych jest rodzina operatorów uporządkowanej średniej ważonej OWA (ang. Ordered Weighted Averaging).

**Definicja 4.12.** Operator OWA wymiaru  $n$  jest to odwzorowanie  $U : [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$  z przypisanym wektorem wag  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  take, że

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = w_1 b_1 + w_2 b_2 + \dots + w_n b_n, \quad (4.1.7)$$

gdzie  $w_i \in [0, 1]$  dla  $i = 1, \dots, n$  oraz  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ , a ciąg  $(b_i)_{i=1,n}$  powstaje przez nierosnące uporządkowanie wyrazów ciągu  $(a_i)_{i=1,n}$

Operator OWA zapewnia ciągle przejście z „bezwzględno i” do „bezwzględno lub” poprzez korygowanie wektora wag  $w$ . Wektor wag  $w$  może być ustalony przy użyciu funkcji kwantyfikatora  $Q(x)$  w następujący sposób:

$$w_i = Q\left(\frac{i}{n}\right) - Q\left(i - \frac{1}{n}\right).$$

Kwentyfikator  $Q$  może być reprezentowany jako zbiór rozmyty taki, że dla każdego  $x \in [0, 1]$ ,  $Q(x)$  oznacza stopień, w jakim  $x$  obiektów spełnia pojęcie symbolizowane przez  $Q$ . Zatem stopień dominacji grupy, w której „większość” ekspertów popiera alternatywę  $a$  może być określony jako:

$$e(a) = F_Q(e^1(a), e^2(a), \dots, e^m(a)),$$

gdzie  $F_Q$  jest operatorem OWA. Wektor wag  $w_Q = (w_1, w_2, \dots, w_m)$  może być ustalony przy pomocy następującej funkcji kwantyfikatora  $Q$ :

$$Q(x) = \begin{cases} 1, & x > b, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \text{ } a, b \in [0, 1], \\ 0, & x < a. \end{cases}$$

Rysunki 4.1.4 oraz 4.1.5 przedstawiają dwa przykładowe typy kwantyfikatorów, odpowiednio „Większość” oraz „Co najmniej połowa”.

**Przykład 4.2.** Załóżmy, że stopnie preferencji każdego z ekspertów dla alternatywy  $a$  wyglądają następująco:  $[0.58, 0.33, 0.92, 0.08, 0.72, 0.65]$ , a do agregacji został użyty kwentyfikator lingwistyczny  $Q =$  „większość”. Stopień dominacji grupowej wynosi:

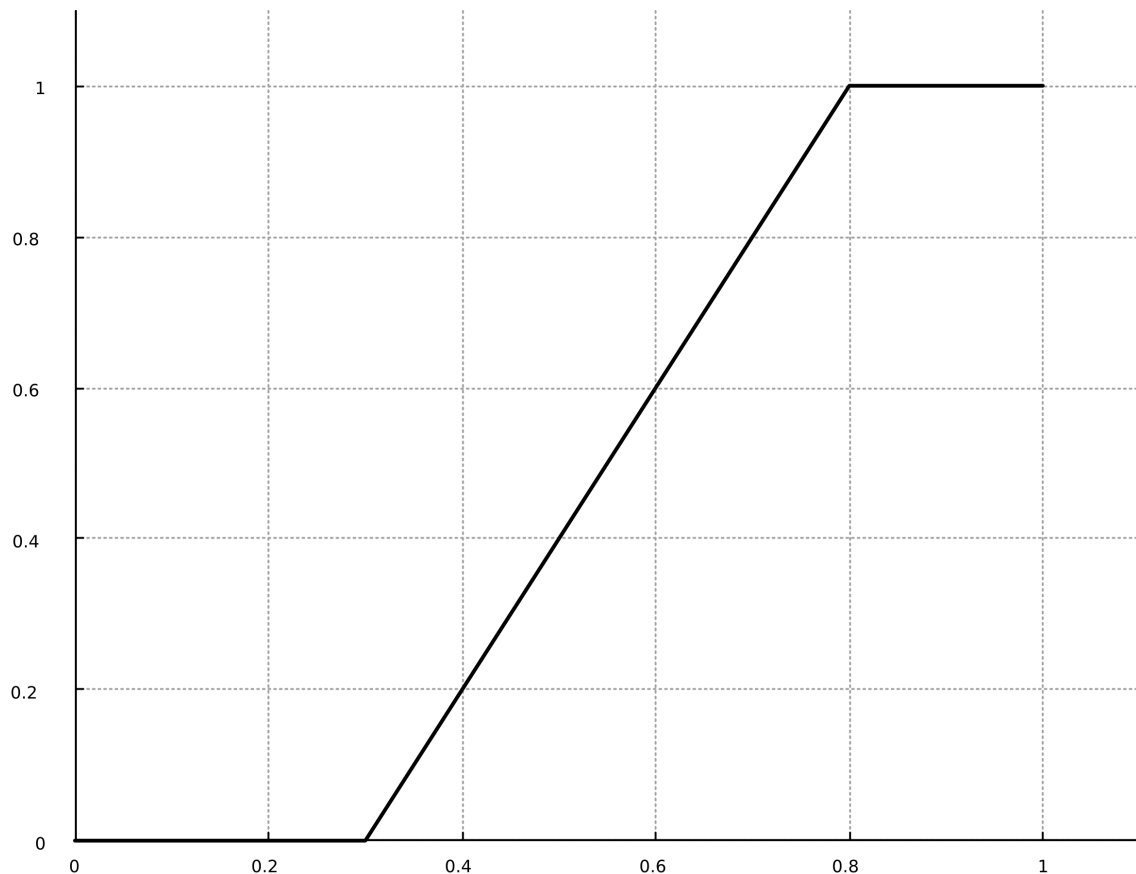
$$e(a) = F_{Q_{Most}}(0.58, 0.33, 0.92, 0.08, 0.72, 0.65) = 0.613,$$

gdzie  $w = (0, 0.07, 0.33, 0.60, 0, 0)$ .

Z powyższego przykładu wynika, że kwentyfikator lingwistyczny „Większość” bierze środkową część uporządkowanych ocen ekspertów i oblicza ich sumę ważoną. Z powodzeniem można skorzystać z innych kwantyfikatorów, odpowiednio do sytuacji. Ponadto przy pomocy operatora OWA można modelować sytuację, w której decydenci zamierzają oceniać tak, że „większość” kryteriów jest spełniona.

## 4.2. Zastosowanie logiki rozmytej w podejmowaniu decyzji

Podejmowanie decyzji to proces analizy zaistniałej sytuacji, z której istnieją co najmniej dwie drogi dalszego postępowania. Proces ten można oprzeć na racjonalnym działaniu, czyli logicznym myśleniu i chłodnej kalkulacji. Niestety w życiu codziennym wiele decyzji podejmowanych jest z wykorzystaniem własnych odczuć, emocji,



Rys. 4.1.4: Kwantyfikator lingwistyczny „Większość”

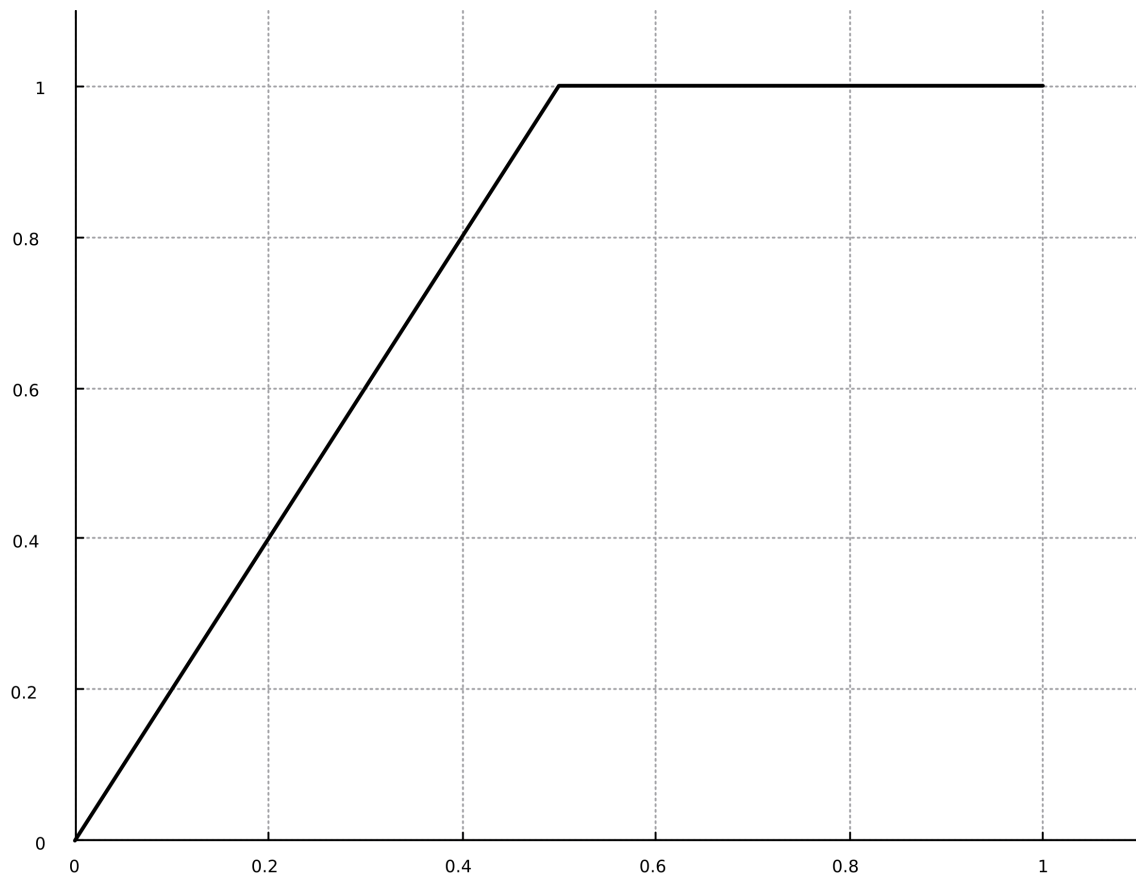
intuicji. Zatem podejmowanie decyzji to proces nie tylko racjonalny i nowoczesne systemy wspomagania decyzji wprowadzają mechanizmy pozwalające na ocenę intuicyjną oraz działania na niepewnych i niepełnych danych.

Człowiek z natury porusza się w środowisku nieprecyzyjnym. Każdy potrafi powiedzieć, czy w danej restauracji smakuje mu jedzenie (wyśmienite, smaczne, przeciętne, niesmaczne, ...). Jednak mało kto potrafi w sposób ścisły, z użyciem liczb, sprecyzować swoją opinię. Jest to subiektywna sprawa, osobiste odczucie. Nieprecyzyjność jest całkowicie naturalna i stanowi nieodłączny element podejmowania decyzji.

Grupowe podejmowanie decyzji jest bardzo dobrym przykładem na to, że modelowanie tego procesu tylko przy użyciu metod precyzyjnych jest zadaniem bardzo trudnym, a co więcej - nienaturalnym.

Poniższy podrozdział prezentuje przykłady wykorzystania logiki rozmytej w modelowaniu poszczególnych etapów grupowego podejmowania decyzji.





Rys. 4.1.5: Kwantyfikator lingwistyczny „Co najmniej połowa”

### 4.2.1. Reprezentacja preferencji

Każdy z decydentów powinien wyrazić swoją opinię na temat dostępnych alternatyw w sposób wygodny i naturalny, możliwie jak najbardziej zbliżony do naturalnego. Większość ludzi zapytanych o porównanie dwóch rozwiązań, jako pierwsze powie, że rozwiązanie pierwsze woli bardziej niż drugie. Może też paść odpowiedź „dużo bardziej”, „zdecydowanie” i tym podobne. Tego typu przypadki bardzo dobrze modeluje powszechnie stosowana tak zwana rozmyta relacja preferencji.

Żeby w pełni wykorzystać możliwości rozmytej relacji preferencji, wykorzystuje się zmienną lingwistyczną. To dzięki niej możliwe jest wykorzystanie w obliczeniach wyrażań lingwistycznych takich jak „mniej” i „bardziej”.

Rozmytym oraz tradycyjnym metodom wydobywania i reprezentacji preferencji decydentów poświęcony został osobny rozdział.

### 4.2.2. Ocena globalna

Zazwyczaj na początku wszyscy członkowie grupy posiadają odmienne zdanie na temat wyboru rozwiązania. Proces osiągania konsensusu jest niezbędny w każdym

procesie grupowego podejmowania decyzji. Tradycyjnie konsensus jest postrzegany jako pełna zgoda wszystkich decydentów. Oczywiście, ten typ konsensusu jest idealny i bardzo trudny do osiągnięcia. Z tego względu, jest to proces dynamiczny i iteracyjny. W jakiś sposób należy sprawdzać, czy odpowiedni poziom zgody został osiągnięty. Realizuje się to poprzez obliczenie globalnej oceny alternatyw i porównanie jej z indywidualnymi.

We wcześniejszym podpunkcie zostały przedstawione zbiory rozmyte jako doskonałe narzędzie do reprezentacji ocen poszczególnych decydentów. Jest to również doskonałe narzędzie do agregacji tych ocen w jedną zbiorczą ocenę. W tym celu wykorzystuje się operatory agregacji, szczególnie operator OWA. Dzięki niemu można mówić o konsensusie „większości” albo „więcej niż 70%” grupy.

### 4.2.3. Tworzenie rankingu

Po fazie agregacji następuje faza eksploatacji uzyskanych danych, czyli moment, w którym ocena globalna alternatyw zamieniana jest na globalny ranking. Globalny ranking uzyskuje się poprzez użycie dwóch stopni wyboru alternatyw: kwantyfikator stopnia dominacji (QGDD, ang. quantifier guided dominance degree) oraz kwantyfikator stopnia nie-dominacji (QGNDD, ang. quantifier guided non dominance degree). Pierwszy z nich jest używany, aby uzyskać przewagę jaką posiada dana alternatywa nad pozostałymi w kontekście rozmytej większości. Drugi kwantyfikator natomiast, podaje stopień w jakim każda z alternatyw nie jest zdominowana przez rozmytą większość zbioru alternatyw. Sposób w jaki należy połączyć te dwie informacje w celu uzyskania rankingu jest opisany w kolejnych rozdziałach.

# Rozdział 5

## Sposoby reprezentacji preferencji

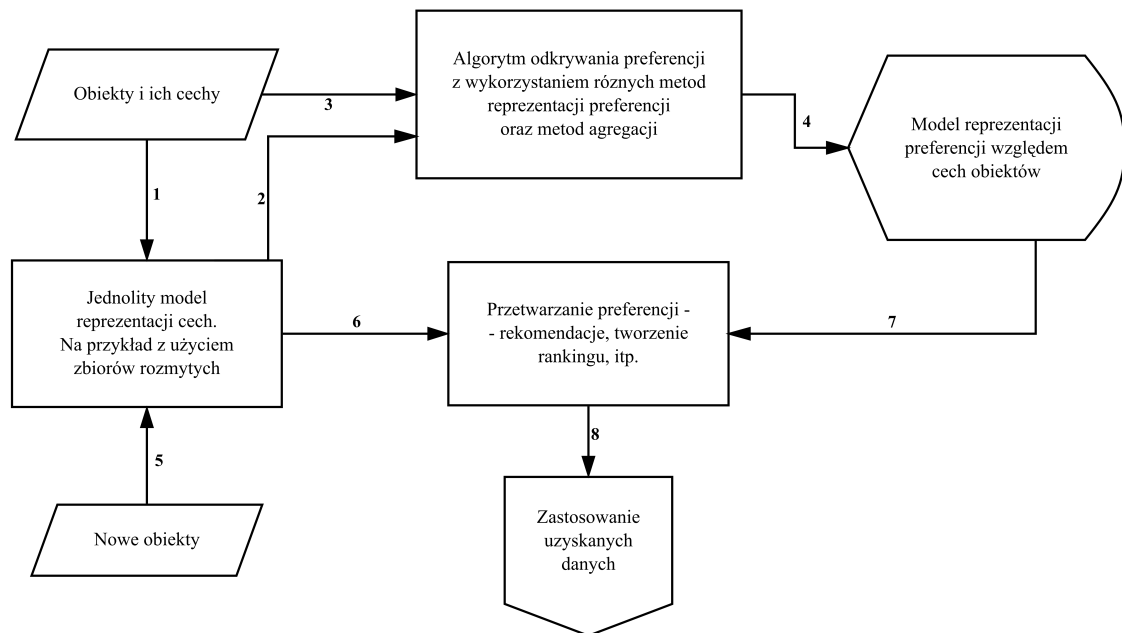
Odkrycie preferencji użytkownika ma na celu poznanie opinii na temat różnych usług i przedmiotów. Są one kluczem w wielu aplikacjach, takich jak systemy rekomendacji, filtrowanie lub wyszukiwanie informacji. W przypadku podejmowania decyzji poznanie preferencji jest jednym z podstawowych elementów systemu. Aby osiągnąć konsensus i przedstawić propozycje rozwiązań problemu, trzeba poznać zdanie decydentów na temat każdej z alternatyw. Okazuje się, że nie jest to łatwe zadanie, ponieważ każdy z ekspertów posiada swoje własne idee, cele, motywacje i osobowość. Prowadzi to do wniosku, że różne osoby mogą wyrażać swoje preferencje na różne sposoby.

W tym rozdziale zostanie przedstawiony ogólny model poznawania preferencji. Następnie wprowadzone zostaną klasyczne sposoby reprezentacji. Warto zwrócić uwagę na to, że przed metodami klasycznymi stoi kilka wyzwań. Jednym z nich jest niepewność. Na przykład opis alternatywy lub wprowadzone preferencje mogą być niepełne i nieprecyzyjne ze względu na brak pełnej informacji, niewiedzę lub niezdecydowanie osoby. Dlatego na koniec rozdziału omówione zostaną metody wykorzystujące zbiory rozmyte.

### 5.1. Model ogólny

Scenariusz idealny zakłada poproszenie użytkowników o wyrażenie swoich preferencji na temat różnych cech ocenianego problemu. W praktyce ma to jednak ograniczone zastosowanie, a także nie zawsze jest to możliwe. Obiecującym źródłem odkrywania preferencji mogą być komentarze użytkowników. Ogólny schemat odkrywania i przetwarzania preferencji przedstawiony jest na rysunku 5.1.1.

Schemat zaproponowany przez Zenebe et al. [8] składa się z czterech głównych elementów: wydobywanie i prezentacja cech, odkrycie preferencji, reprezentacja preferencji, zastosowanie wydobytych informacji.



Rys. 5.1.1: Schemat odkrywania i przetwarzania preferencji

## 5.2. Metody klasyczne

### 5.2.1. Uporządkowanie alternatyw

W tym przypadku, alternatywy uporządkowane są od najlepszej do najgorszej bez żadnej dodatkowej informacji. Formalnie, ekspert  $e_k$  podaje swoje preferencje dla zbioru alternatyw  $\mathcal{X}$  jako indywidualne uporządkowanie alternatyw  $O^k = \{o^k(1), \dots, o^k(n)\}$ , gdzie  $o^k(\cdot)$  jest funkcją permutacji nad zbiorem indeksów  $\{1, \dots, n\}$ . Jak wspomniano wyżej, wynikiem jest uporządkowany zbiór alternatyw.

### 5.2.2. Multiplikatywna relacja preferencji

W tym przypadku, preferencje ekspertów dla zbioru  $\mathcal{X}$  opisane są przy pomocy relacji preferencji  $A^k \subset X \times X$ ,  $A^k = a_{ij}^k$ , gdzie  $a_{ij}^k$  wskazuje stopień intensywności preferencji alternatywy  $x_i$  do  $x_j$ . Innymi słowy, alternatywa  $x_i$  jest  $a_{ij}^k$  razy tak dobra jak  $x_j$ .

Nawiązując do pracy Millera nad postrzeganiem liczb, Saaty w swojej pracy sugeruje używania w takich sytuacjach skali od 1 do 9. Zatem  $a_{ij}^k = 1$  interpretuje się jako obojętność lub brak różnicy dla eksperta pomiędzy rozwiązaniami  $x_i$  oraz  $x_j$ ,  $a_{ij}^k = 9$  oznacza, że  $x_i$  jest zdecydowanie bardziej preferowane niż  $x_j$ , natomiast  $a_{ij}^k \in \{2, 3, \dots, 8\}$  oznacza oceny pośrednie. Z reguły zakłada się, że relacja jest wzajemnie odwrotna, czyli  $\forall_{i,j} a_{ij}^k \cdot a_{ji}^k = 1$ .

bibl

bibl

### 5.2.3. Funkcja użyteczności

Użyteczność to inaczej zdolność dobra do zaspokajania potrzeb. Określa subiektywną przyjemność, pożytek lub zadowolenie płynące z dokonanego wyboru. Należy pamiętać, że użyteczność jest abstrakcją i ma charakter subiektywny, podobnie jak pozostałe metody. Przy pomocy funkcji użyteczności, ekspert przedstawia ocenę każdej z alternatyw zgodnie z użytecznością z jego punktu widzenia. Formalnie, ekspert  $e_k$  podaje swoje preferencje dla zbioru alternatyw  $\mathcal{X}$  jako zbiór  $n$  wartości użyteczności  $U^k = \{u_i^k; i = 1, \dots, n\}$ ,  $u_i^k \in [0, 1]$ , gdzie  $u_i^k$  reprezentuje wartość użyteczności alternatywy  $x_i$  daną przez eksperta  $e_k$ .

## 5.3. Metody oparte na zbiorach rozmytych

Teoria zbiorów rozmytych jest stosowana w grupowym podejmowaniu decyzji już od długiego czasu. Większość modeli opracowanych w literaturze jest opartych na rozmytej relacji preferencji, która może być uzyskana poprzez porównania pomiędzy parami różnych alternatyw przez ekspertów.

biblio

Z drugiej strony, wiele problemów dotyczy ilościowych aspektów, które mogą być ocenione przy użyciu konkretnych wartości liczbowych, czyli z użyciem opisanych wcześniej metod klasycznych. Jednakże, występuje bardzo dużo problemów o aspekcie jakościowym, które są bardzo trudne do oceny poprzez dokładne i ścisłe wartości. W takich przypadkach, podejście wykorzystujące zmienne lingwistyczne może być stosowane w celu uzyskania lepszego rozwiązania. Na przykład, gdy eksperci starają się ocenić komfort samochodu, gdzie są używane wyrażenia językowe, jak „dobry”, „niezły”, „słaby”.

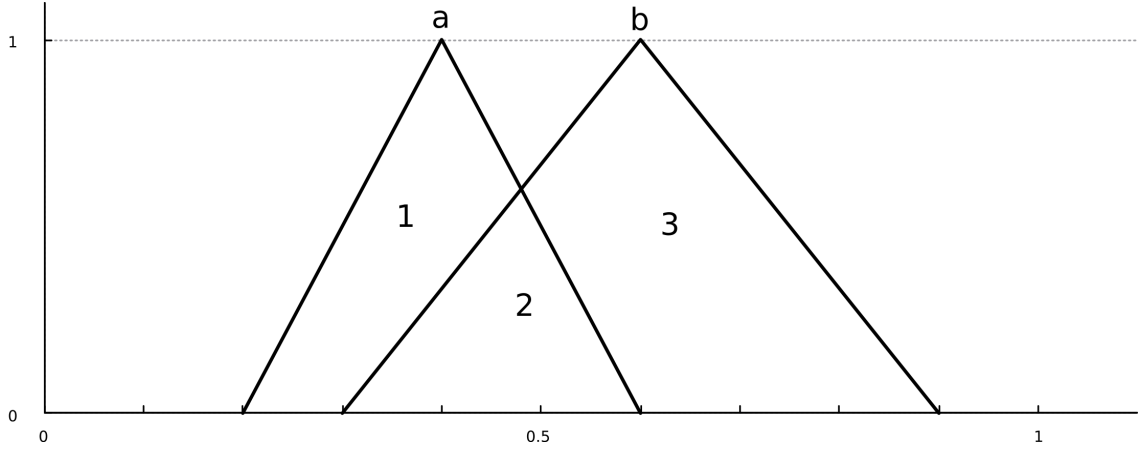
### 5.3.1. Rozmyta relacja preferencji

**Definicja 5.1.** Rozmyta relacja preferencji  $R$  na zbiorze alternatyw  $\mathcal{X}$  jest zbiorem rozmytym na iloczynie kartezjańskim  $X \times X$  z funkcją przynależności  $\mu_R : X \times X \rightarrow [0, 1]$ . Niech  $P(x_i, x_j) \in R$  będzie rozmytą relacją preferencji pomiędzy alternatywami  $x_i$  i  $x_j$ . Wtedy  $P(x_i, x_j)$  oraz  $P(x_j, x_i)$  są zwrotne, tzn.  $P(x_i, x_j) + P(x_j, x_i) = 1$ .

Niech  $\mathcal{X}$  będzie zbiorem alternatyw oraz  $x_i, x_j \in \mathcal{X}$ . Oznaczmy  $P^k(x_i, x_j) = p_{ij}^k$ , co oznacza stopień preferowania alternatywy  $x_i$  nad  $x_j$  względem kryterium  $k$ . Stąd  $p_{ij}^k = 1$  oznacza, że rozwiązanie  $x_i$  jest bezwzględnie lepsze niż  $x_j$ ,  $p_{ij}^k \in (0.5; 1)$  przewagę  $x_i$  nad  $x_j$  (im większa wartość tym większa przewaga), a  $p_{ij}^k = 0.5$  brak różnicy pomiędzy rozwiązaniami.

Rozmyta relacja preferencji stosowana jest do modelowania nieprecyzyjnej relacji pomiędzy różnymi rozwiązaniami. Aby zredukować uciążliwe zadanie przypisywania stopni preferencji pomiędzy alternatywami przez ekspertów ( $q(n-1)/2$  razy), rozmyta

relacja preferencji między dwoma alternatywami  $x_i$  i  $x_j$  dla kryterium  $k$  jest obliczana przez porównywanie parami ocen lingwistycznych  $g_k^t(x_i)$  i  $g_k^t(x_j)$ , które mogą być opisane jako liczby rozmyte (szczegóły w następnym podpunkcie). W ten sposób, liczba ocen ekspertów zmniejsza się do  $qn$  razy. W literaturze istnieje wiele sposobów na



Rys. 5.3.1: Przykład rozmytej relacji preferencji

zdefiniowanie relacji rozmytej pomiędzy dwoma liczbami rozmytymi. W tej pracy zostanie użyte podejście Tsenga i Kleina bazujące na odległości Hamminga ze względu na prostotę i wydajność.

biblio

**Definicja 5.2.** Niech  $a$  i  $b$  będą liczbami rozmytymi. Rozmyte relacje preferencji  $P(a, b)$  i  $P(b, a)$  zdefiniowane są w następujący sposób:

$$P(a, b) = \frac{D(a, b) + D(a \cap b, 0)}{D(a, 0) + D(b, 0)}, \quad (5.3.1)$$

$$P(b, a) = \frac{D(b, a) + D(a \cap b, 0)}{D(a, 0) + D(b, 0)}, \quad (5.3.2)$$

gdzie

$D(a, b)$  - powierzchnia, gdzie  $a$  dominuje nad  $b$ ,

$D(b, a)$  - powierzchnia, gdzie  $b$  dominuje nad  $a$  (pole 1 i 3 na rys. 5.3.1),

$D(a, 0)$  - powierzchnia  $a$  (pole 1 i 2 na rys. 5.3.1),

$D(b, 0)$  - powierzchnia  $b$  (pole 2 i 3 na rys. 5.3.1),

$D(a \cap b, 0)$  - przecięcie powierzchni  $a$  i  $b$  (pole 2 na rys. 5.3.1).

Dla przykładu rozmyta relacja preferencji na rysunku 5.3.1 jest liczona następująco:

$$P(a, b) = \frac{\text{pole2}}{(\text{pole1} + \text{pole2}) + (\text{pole2} + \text{pole3})} = 0.18,$$

$$P(b, a) = \frac{(pole1 + pole3) + pole2}{(pole1 + pole2) + (pole2 + pole3)} = 0.82.$$

### 5.3.2. Rozmyta relacja preferencji w przypadku wielu kryteriów

Wyżej opisana rozmyta relacja preferencji pozwala ocenić alternatywy według tylko jednego kryterium. W wielu przypadkach może się to okazać wystarczające, ponieważ eksperci nie muszą oceniać poszczególnych cech rozwiązań, ale mogą głosować bezpośrednio na nie po przeprowadzeniu dyskusji. Sytuacja komplikuje się, kiedy każdy ekspert ocenia wyszczególnione wcześniej cechy rozwiązań (na przykład cena, wygoda, wykonanie samochodu). W wyniku otrzymywany jest zbiór relacji - po jednej na parę ekspert-kryterium. Aby uzyskać dane pozwalające na uporządkowanie alternatyw należy połączyć wszystkie wyniki każdego eksperta osobno.

Niech  $p_k^t(x_i, x_j)$  będzie rozmytą relacją preferencji pomiędzy alternatywami  $x_i$  i  $x_j$  dla kryterium  $c_k$  oraz eksperta  $e^t$  liczoną według definicji 5.2:

$$p_k^t(x_i, x_j) = P(g_k^t(x_i), g_k^t(x_j)).$$

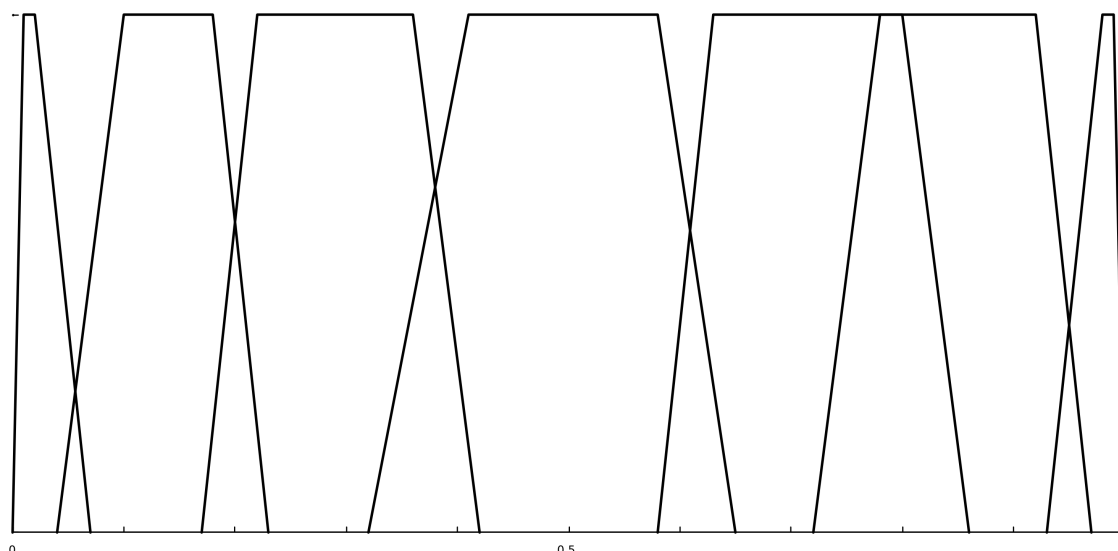
Zbiorcza rozmyta relacja preferencji pomiędzy alternatywami  $x_i$  i  $x_j$  dla eksperta  $e^t$  może być uzyskana jako ważona suma wartości  $p_k^t(x_i, x_j)$  po wszystkich kryteriach  $p^t(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^q w_k \times p_k^t(x_i, x_j)$ , gdzie  $\sum_{k=1}^q w_k = 1$ .

Ostatecznie możliwe jest uporządkowanie alternatyw w częściowym porządku poprzez wyliczenie stopnia dominacji każdej z alternatyw, czyli jak bardzo ekspert  $e^t$  wspiera dane rozwiązanie  $x_i$ . Oblicza się to jako średnia z  $p^t(x_i, x_j)$  dla  $x_j \in \mathcal{X}$  i  $x_j \neq x_i$ :  $h^t(x_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{x_j \in \mathcal{X}, x_j \neq x_i} p^t(x_i, x_j)$ .

### 5.3.3. Ocena lingwistyczna

Rozmyte podejście lingwistyczne używa zmiennych lingwistycznych, które uczestniczą w procesie oceniania przy pomocy terminologii językowej zamiast wartości liczbowych. Takie podejście jest odpowiednie dla wielu problemów, ponieważ umożliwia przedstawienie indywidualnych preferencji w bardziej bezpośredniej i odpowiedniej formie wtedy, gdy nie jest możliwe wyrażenie ich precyzyjnie.

Zmienne lingwistyczne różnią się od numerycznych tym, że ich wartości nie są liczbami, ale słowami lub zdaniami w naturalnym lub sztucznym języku. Ponieważ słowa, generalnie, są mniej precyzyjne niż liczby, koncepcja zmiennych lingwistycznych zapewnia środki umożliwiające zbliżoną charakteryzację zjawisk, które są zbyt skomplikowane lub za słabo zdefiniowane, żeby opisać je w tradycyjnych kategoriach ilościowych. Ze względu na to, że oceny lingwistyczne są przybliżonymi wartościami podanymi przed decydentów, można uznać, że trapezowe funkcje przynależności są wystarczające dobre, aby uchwycić niepewność oceny w procesie decyzyjnym. Potrzebny jest również zbiór termów definiujący granularność niepewności. W literatu-



Rys. 5.3.2: Rozkład dziewięciu termów lingwistycznych

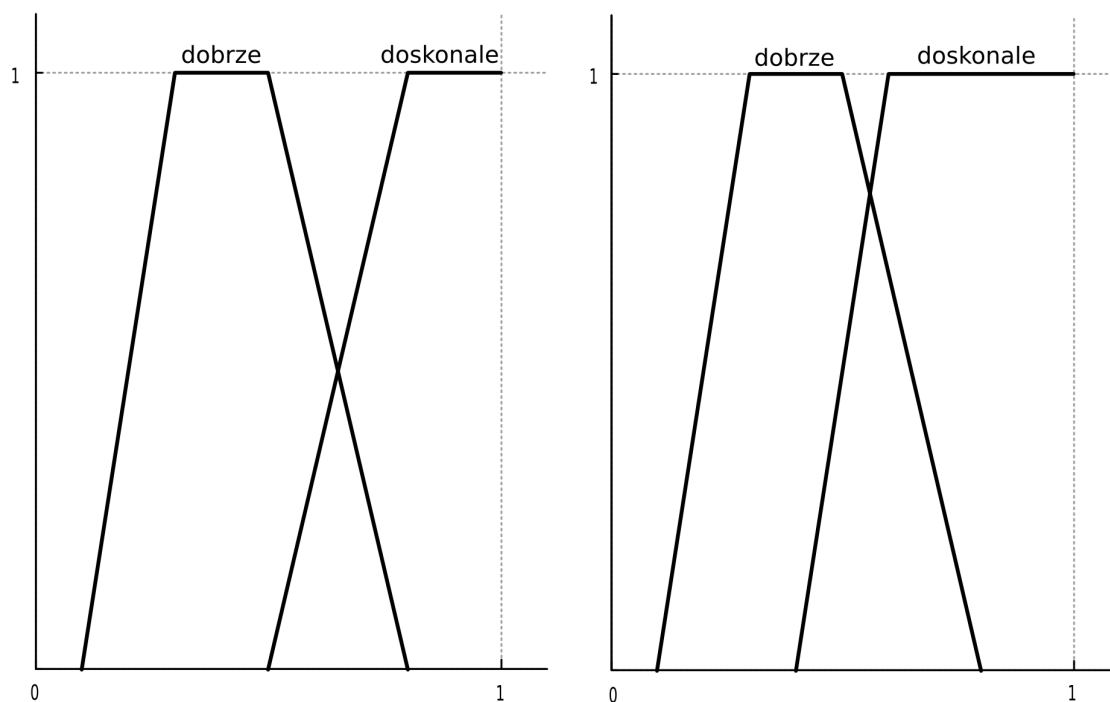
rze proponuje się zbiory o nieparzystej liczbie elementów rozłożonych symetrycznie. Okazuje się również, że granularność, czyli moc zbioru, nie powinna przekraczać 11 elementów. Dzięki temu unika się uzyskania zbyt dokładnych wyników, co może być niemożliwe lub niepotrzebne. Co więcej, wybrany zbiór powinien spełniać następujące warunki:

- 1) uporządkowanie,
- 2) operator negacji,
- 3) operator maksimum,
- 4) operator minimum.

Przykładem może być następujący zbiór termów lingwistycznych przedstawiony graficznie na rysunku 5.3.2 (pierwsze dwa parametry oznaczają przedział w którym wartość funkcji przynależności jest 1, natomiast trzeci i czwarty parametr oznaczają lewą i prawą szerokość rozkładu):

P	Pewne	(1, 1, 0, 0)
BM	Bardzo Możliwe	(0.98, 0.99, 0.05, 0.01)
M	Możliwe	(0.78, 0.92, 0.06, 0.05)
ZS	Znacząca Szansa	(0.63, 0.80, 0.05, 0.06)
MB	Może Być	(0.41, 0.58, 0.09, 0.07)
MS	Mała Szansa	(0.22, 0.36, 0.05, 0.06)
BMS	Bardzo Mała Szansa	(0.1, 0.18, 0.06, 0.05)
BMM	Bardzo Mało Możliwe	(0.01, 0.02, 0.01, 0.05)
N	Niemożliwe	(0, 0, 0, 0)





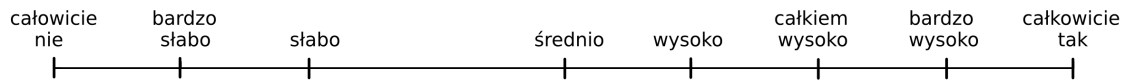
Rys. 5.3.3: Podobne zmienne lingwistyczne

Okazuje się, że nie można założyć, że wszyscy zgadzają się na takie same funkcje przynależności przypisane do termów i nie ma jednego uniwersalnego rozkładu. Dla przykładu można rozważyć dwie bardzo podobne koncepcje przedstawione na rysunku 5.3.3, które z matematycznego punktu widzenia bardzo się różnią. Powszechnie przyjmuje się i akceptuje, że dostrojenie funkcji przynależności jest jednym z ważniejszych elementów w kontroli procesu. Dobrze jest dostarczyć mechanizm pozwalający ekspertom na takie dostrojenie, jednak na potrzeby tej pracy przyjmuje się środowisko, w którym eksperci zgadzają się na ogólnie narzucony zestaw termów lingwistycznych ze względu na to, że zmienna lingwistyczna ma służyć zapewnieniu środków umożliwiających zbliżoną charakterystykę nieprecyzyjnej oceny preferencji.

#### 5.3.4. Niesymetryczna zmienna lingwistyczna

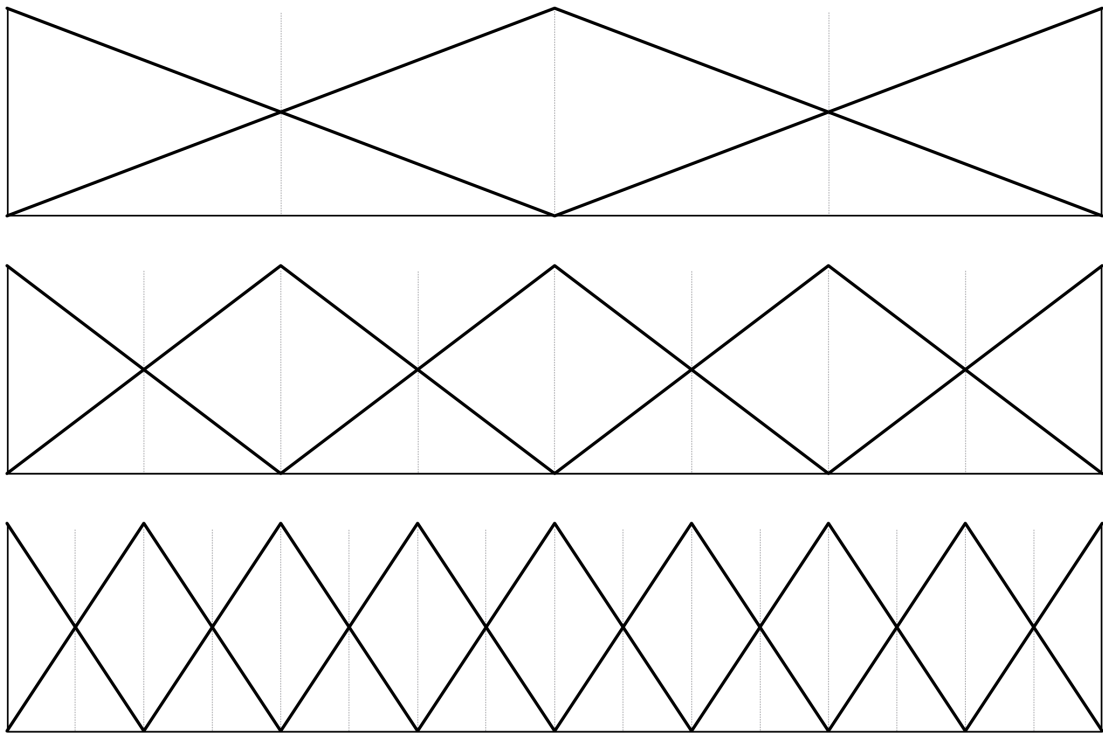
Wiele problemów można oceniać przy pomocy opisanych wcześniej zmiennych lingwistycznych, których termy są równomiernie i symetrycznie rozłożone. Istnieją jednak problemy, które muszą korzystać ze zmiennych lingwistycznych, które nie mają takich właściwości, to znaczy mają nierównomiernie i niesymetrycznie rozłożony zbiór termów. Tego typu zmienne lingwistyczne nazywane są niesymetrycznymi zmiennymi lingwistycznymi (rysunek 5.3.4).

W pracy dotyczącej informacji niesymetrycznej, Alonso et al. zaproponowali nowy model radzenia sobie z niesymetrycznymi zmiennymi lingwistycznymi w procesie po-



Rys. 5.3.4: Niesymetryczny rozkład termów

dejmowania decyzji. W tym celu wykorzystana została tak zwana hierarchia lingwistyczna, czyli zbiór poziomów, gdzie każdy poziom reprezentuje zbiór termów lingwistycznych o odpowiedniej granularności. Każdy poziom oznaczany jest jako  $l(t, n(t))$ , gdzie  $t$  to numer porządkowy poziomu, a  $n(t)$  to liczba termów na poziomie  $t$ . Przez  $S^{n(t)} = \{s_0^{n(t)}, \dots, s_{n(t)-1}^{n(t)}\}$  oznacza się zbiór termów lingwistycznych na poziomie  $t$ . Graficzny przykład hierarchii lingwistycznej pokazano na rysunku 5.3.5.



Rys. 5.3.5: Przykładowa hierarchia lingwistyczna

W omawianym w tej pracy modelu podejmowania decyzji grupowej możliwe jest użycie różnych zaprezentowanych powyżej sposobów wprowadzania preferencji. Z tego powodu potrzebna jest transformacja z jednej metody na drugą. W przypadku niesymetrycznej zmiennej lingwistycznej wygodne okazuje się przedstawienie jej przy pomocy klasycznej zmiennej lingwistycznej. Najprostsza procedura wykonująca tą czynność przy użyciu hierarchii lingwistycznej wygląda następująco:

- i. Znajdź poziom  $t^-$  w  $LH$  (ang. Linguistic Hierarchy) reprezentujący podzbiór ter-

mów  $S_{UN}^L$  na lewo od środkowego termu w niesymetrycznym zbiorze termów lingwistycznych  $S_{UN}$ . Znalezionej poziom  $LH$  powinien odpowiadać rozkładowi termów w  $S_{UN}^L$ .

- ii. Znajdź poziom  $t^+$  w  $LH$  reprezentujący podzbiór termów  $S_{UN}^R$  na prawo od środkowego termu ze zbioru  $S_{UN}$ .
- iii. Środkowy term zbioru  $S_{UN}$  przedstaw używając środkowych termów z poziomów  $t^-$  i  $t^+$ .

Okazuje się, że pojawia się problem, kiedy nie istnieje poziom  $t^-$  lub  $t^+$  w  $LH$  reprezentujący, odpowiednio,  $S_{UN}^L$  lub  $S_{UN}^R$ . Dlatego Alonso et al. zaprezentowali algorytm, który zakłada brak poziomu  $t^-$ , jak na rysunku 5.3.4 (przez analogię można napisać algorytm dla  $t^+$ ):

i. Reprezentacja  $S_{UN}^L$ :

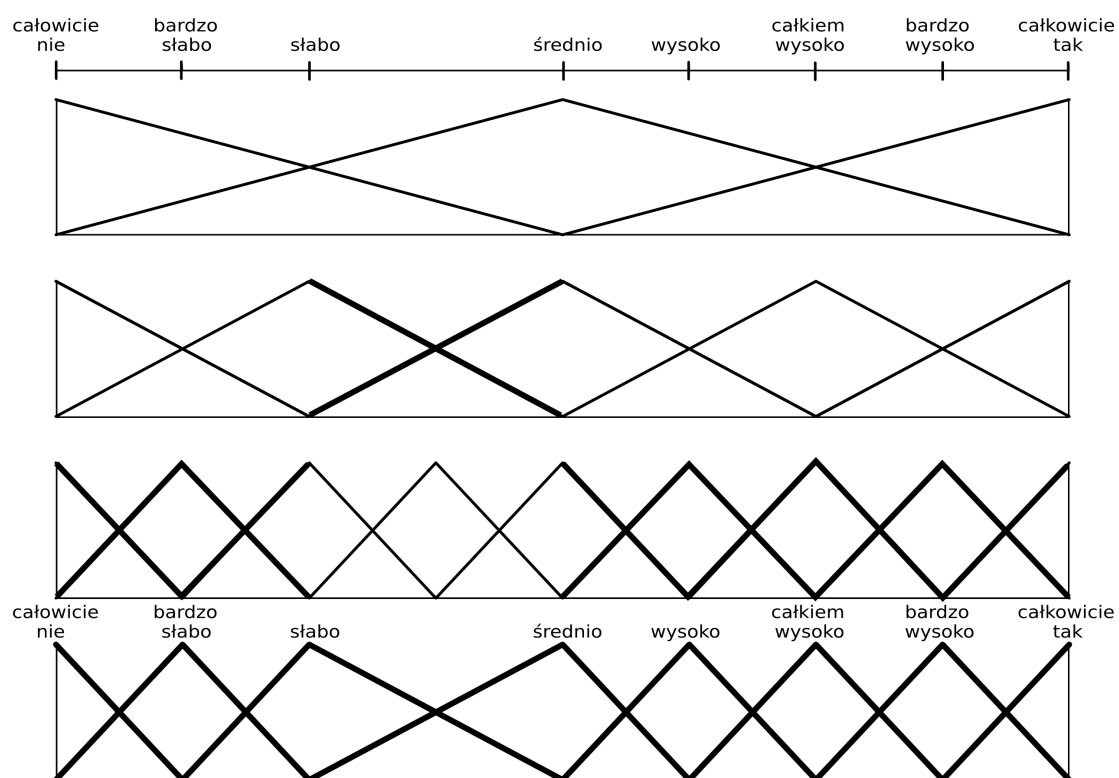
- (a) Zidentyfikuj środkowy term  $S_{mid}^L$  w  $S_{UN}^L$ .
- (b) Znajdź poziom  $t_2^-$  po lewej stronie zbiorów  $LH^L$ , który odpowiada lewemu podzbirowi termów z  $S_{UN}^L$ , gdzie  $LH^L$  oznacza lewą część  $LH$ .
- (c) Znajdź poziom  $t_2^+$  po prawej stronie zbiorów  $LH^L$ , który odpowiada prawemu podzbirowi termów z  $S_{UN}^L$ .
- (d) Przedstaw środkowy term  $S_{mid}^L$  używając poziomów  $t_2^-$  i  $t_2^+$ .

ii. Znajdź poziom  $t^+$  w  $LH$  reprezentujący podzbiór termów  $S_{UN}^R$ .

- iii. Środkowy term zbioru  $S_{UN}$  przedstaw używając środkowych termów z poziomów  $t^+$  i  $t_2^+$ .

Przykład działania algorytmu został przedstawiony na rysunku 5.3.6, na którym jest reprezentacja niesymetrycznego zbioru termów lingwistycznych  $S_{UN} = \{N, VL, L, M, H, QH, VH, T\}$  z rysunku 5.3.4 dla hierarchii lingwistycznej  $LH$  z rysunku 5.3.5. W tym przykładzie mamy:

- $S_{UN}^L = \{N, VL, L\}$ ,
- $S_{mid}^L = L$ ,
- $LH^L = \{s_0^{n(1)}\} \cup \{s_0^{n(2)}, s_1^{n(2)}\} \cup \{s_1^{n(3)}, s_2^{n(3)}, s_3^{n(3)}\}$ .



Rys. 5.3.6: Reprezentacja niesymetrycznej zmiennej lingwistycznej

# Rozdział 6

## System wspomagania decyzji grupowej

### 6.1. Organizacja pracy grupy

Członkowie grupy są ludźmi. Jako ludzie, szukamy na około, tracimy główny wątek dyskusji, przywiązujemy się do naszych pomysłów. Nawet jeśli bardzo się staramy, żeby utrzymać koncentrację i „pozostać na torze”, nie możemy zmienić faktu, że jesteśmy indywidualnościami o różnych punktach widzenia. Podczas dyskusji, każdy z członków grupy powinien mieć okazję do przedstawienia swoich propozycji rozwiązań oraz oceny innych alternatyw. W większości przypadków dochodzi do tak zwanej „burzy mózgów”. Bardzo dużo osób obawia się, że proces wymknie się spod kontroli i zostanie zatracony sens dyskusji. Niemniej jednak, coś co wydaje się być chaosem, może okazać się wstępem do kreatywności. Dlatego w modelu podejmowania decyzji grupowej powinien być czas na tak zwaną „strefę rozbieżną” oraz „strefę zbieżną”, a pomiędzy nimi „strefę jęku”. Są to elementy, które większość istniejących modeli pomija, a tak naprawdę to właśnie dyskusja jest kluczem prowadzącym do osiągnięcia konsensusu.

Strefa rozbieżna to miejsce na myślenie w coraz to szerszym zakresie. Na samym początku grupa przedstawia oczywiste lub dobrze znane (na przykład z poprzednich problemów) rozwiązania. Jeśli okaże się to wystarczające to wyszukiwanie alternatyw może się zakończyć w tym miejscu. Jednakże istnieją problemy, na które nie ma prostej odpowiedzi i grupa musi wyjść poza pewne ramy w poszukiwaniu szerszego spektrum możliwości. To jest miejsce, do którego wiele grup nie dociera. Boimy się wychodzić poza utarte schematy, bo możemy zostać skrytykowani lub, w najlepszym wypadku, zignorowani. To jest również jedno z tych miejsc, w których idealnie sprawdza się system informatyczny, w którym zapewniona jest anonimowość przedstawianych rozwiązań.

Teoretycznie, w pewnym momencie czasu, grupa sama powinna zacząć myśleć

w kierunku uporządkowania dyskusji i wyboru ostatecznych rozwiązań, czyli przejść do „strefy zbieżnej”. Niestety, w prawdziwym życiu jest inaczej. W praktyce, przejście ze strefy wyrażania swoich propozycji do strefy rozumienia perspektyw pozostałych członków grupy jest bardzo trudne. Ludzie mogą czuć się przeciążeni, zdezorientowani, zniechęceni. Mogą pojawić się stwierdzenia o utknięciu w miejscu, o traceniu czasu, osoby z silniejszą pozycją mogą nakłaniać do zakończenia procesu i wybraniu ich opcji.

Członkowie grupy, zanim zaczną rozumieć punkt widzenia innych członków, muszą przejść przez fazę walki o integrację nowych, innych podejść do problemu ze swoim samym. Jest to tak zwana „strefa jęku”. Jest to miejsce na dyskusje, a nawet kłótnie. Sam fakt świadomości, że w modelu jest miejsce na wymianę zdań, może znacząco przyczynić się do osiągnięcia konsensusu przez grupę.

## 6.2. Zasada działania

Zaproponowany w tej pracy system wspomagania decyzji grupowej ma za zadanie poprowadzić grupę przez cały proces oraz ułatwić osiągnięcie konsensusu i wybranie optymalnego rozwiązania. W związku z opisaną powyżej organizacją pracy grupy, ważnym elementem systemu jest moduł dyskusji. Eksperti mają możliwość przedstawiać swoje alternatywy oraz, oprócz zwykłego głosowania, wyrażać opinię i rozmawiać na temat problemu i rozwiązań. Dzięki temu, grupa może poczuć się jak na rzeczywistym spotkaniu. Prowadzi to do kolejnego założenia.

System umożliwia dynamiczną dyskusję nad problemem bez konieczności gromadzenia ekspertów w jednym miejscu i czasie. Aby uczestniczyć w podjęciu decyzji wymagane jest tylko urządzenie z dostępem do internetu oraz przeglądarką internetową. Zastosowanie najnowszych technologii mobilnych rozszerza możliwości podejmowania decyzji, na przykład możliwe jest osiągnięcie konsensusu wśród ekspertów rozlokowanych w różnych krajach i strefach czasowych.

Szczegółowy opis działania systemu na przykładach opisany jest w kolejnym rozdziale, natomiast poniżej przedstawiony został model teoretyczny wykorzystujący techniki przedstawione wcześniej.

## 6.3. Model teoretyczny

Opisywany model teoretyczny bazuje na modelu przedstawionym w pracy Herrera oraz wprowadza kilka udoskonaleń.

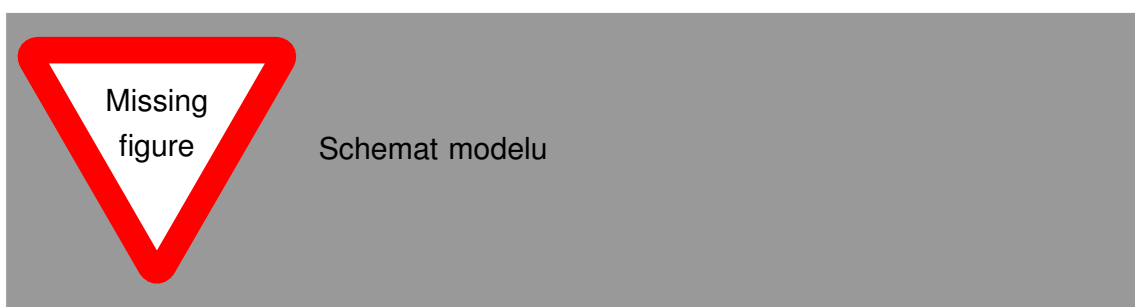
Jednym z nich jest zrezygnowanie z podejścia iteracyjnego. Oznacza to dużo większą dynamikę oraz naturalność procesu. W klasycznym podejściu, system czeka aż wszyscy eksperci biorący udział w procesie wprowadzą swoje preferencje wzglę-

dem alternatyw, a sam zbiór ekspertów jest stały. W przypadku braku informacji od któregoś z członków zespołu cały proces wspomagania decyzji zostaje wstrzymany. Lepszym rozwiązaniem jest uruchomienie etapów schematu modelu w momencie otrzymania pierwszego, nawet niepełnego, zbioru preferencji od jednego z ekspertów. System obliczając poziom konsensusu bierze pod uwagę ilość głosujących ekspertów do ilości wszystkich ekspertów biorących udział w procesie. Pozwala to zapewnić płynność procesu oraz ułatwia dynamiczne zarządzanie zbiorem ekspertów.

Zrezygnowanie z podejścia iteracyjnego w naturalny sposób pociąga kolejną modyfikację. W klasycznych modelach na początku ustalana jest maksymalna liczba iteracji, po której system powinien zakończyć działanie bezwzględnie na wynik. Ze względu na specyfikę zagadnienia, system powinien jedynie wspomagać grupę i sugerować działania, ale nie podejmować decyzji samodzielnie. To zespół powinien decydować, czy osiągnięty konsensus jest satysfakcjonujący czy nie, dlatego proces wspierania decyzji domyślnie jest nieskończony w czasie.

Struktura proponowanego modelu grupowego podejmowania decyzji składa się z sześciu etapów opisanych w kolejnych punktach:

- etap unifikowania,
- etap selekcji,
- etap konsensusu,
- etap dynamicznego wyboru alternatyw,
- etap informacji zwrotnej,
- etap dynamicznej selekcji ekspertów.



### 6.3.1. Etap unifikowania

Aby sprostać wymaganiom użytkowników oraz zapewnić duży stopień swobody w wyrażaniu swoich preferencji, eksperci mogą wprowadzać swoje oceny na temat alternatyw przy pomocy dowolnie przez siebie wybranej metody wprowadzania preferencji opisanej w rozdziale na temat sposobów prezentacji preferencji. W związku

z tym, konieczne jest zunifikowanie uzyskanych informacji przed przejściem do dalszych etapów. Ze względu na użyteczność i wygodę w dalszym przetwarzaniu informacji, szczególnie przy agregacji ocen ekspertów w ocenę zbiorczą, do reprezentacji preferencji w dalszych etapach wybrano rozmytą relację preferencji [9]. Aby jednak było możliwe zamienianie poszczególnych metod na relację rozmytą, potrzebne są funkcje transformacji.

### Funkcja użyteczności a relacja rozmyta

W przypadku funkcji użyteczności zakłada się, że każdy ekspert  $e_k$  podaje swoje preferencje dla zbioru alternatyw  $\mathcal{X}$  jako zbiór wartości użyteczności  $U^k = \{u_i^k; i = 1, \dots, n\}$ ,  $u_i^k \in [0, 1]$ , gdzie  $u_i^k$  reprezentuje wartość użyteczności alternatywy  $x_i$  daną przez eksperta  $e_k$ . Dla każdego zbioru  $U^k$  bez straty ogólności, można założyć, że im wyższa wartość tym bardziej dana alternatywa odpowiada ekspertowi.

Dowolna możliwa funkcja transformacji  $f$  musi ustalić dla eksperta  $e_k$  jego stopień preferencji alternatywy  $x_i$  nad  $x_j$  ( $p_{ij}^k$ ) tylko w zależności od wartości  $u_i^k$  oraz  $u_j^k$ , to znaczy

$$p_{ij}^k = h(u_i^k, u_j^k). \quad (6.3.1)$$

Funkcja transformacji  $f$  musi zakładać również, że większa wartość  $u_i^k$  pociąga większą wartość  $p_{ij}^k$ , a większa  $u_j^k$  to mniejsza  $p_{ij}^k$ .

**Twierdzenie 6.1.** Dla każdego zbioru wartości użyteczności  $U^k = \{u_1^k, \dots, u_n^k\}$  nad zbiorem alternatyw  $\mathcal{X} = \{x_1, \dots, x_n\}$ , stopień preferencji alternatywy  $x_i$  nad  $x_j$  ( $p_{ij}^k$ ) otrzymywany jest ze współczynnika  $u_i^k / u_j^k$  przy użyciu następującej funkcji transformacji:

$$p_{ij}^k = f(u_i^k, u_j^k) = \begin{cases} \frac{s(u_i^k)}{s(u_i^k) + s(u_j^k)}, & \text{jeżeli } (u_i^k, u_j^k) \neq 0, \\ \frac{1}{2}, & \text{jeżeli } (u_i^k, u_j^k) = 0, \end{cases} \quad (i \neq j). \quad (6.3.2)$$

gdzie  $s : [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}^+$  jest dowolną niemalejącą i ciągłą funkcją spełniającą  $s(0) = 0$ .

Przykładowa funkcja spełniająca powyższe twierdzenie zaproponowana w [10] oraz wykorzystywana w przedstawianym systemie wygląda następująco:

$$f^1(u_i^k, u_j^k) = \frac{(u_i^k)^2}{(u_i^k)^2 + (u_j^k)^2} \quad (6.3.3)$$

### Uporządkowanie alternatyw a relacja rozmyta

W tym przypadku, ekspert  $e_k$  podaje swoje preferencje jako uporządkowanie alternatyw  $O^k = \{o^k(1), \dots, o^k(n)\}$ . Dla każdego zbioru  $O^k$  bez straty ogólności, można założyć, że im mniejsza pozycja alternatywy w uporządkowaniu tym większa satysfakcja eksperta. Dla przykładu, uporządkowanie zbioru alternatyw  $\mathcal{X} = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$



przez eksperta  $e_k$  to  $O^k = \{3, 1, 4, 2\}$ . Oznacza to, że alternatywa  $x_2$  jest najlepsza dla eksperta, a  $x_3$  najgorsza.

Dowolna możliwa funkcja transformacji  $f$  musi ustalić dla eksperta  $e_k$  jego stopień preferencji alternatywy  $x_i$  nad  $x_j$  ( $p_{ij}^k$ ) tylko w zależności od wartości  $o^k(i)$  oraz  $o^k(j)$ , to znaczy

$$p_{ij}^k = f(o^k(i), o^k(j)). \quad (6.3.4)$$

Funkcja transformacji  $f$  musi zakładać również, że większa wartość  $o^k(i)$  pociąga mniejszą wartość  $p_{ij}^k$ , a większa  $o^k(j)$  to większa  $p_{ij}^k$ .

**Twierdzenie 6.2.** Dla każdego uporządkowania alternatyw  $O^k = \{o^k(1), \dots, o^k(n)\}$  nad zbiorem alternatyw  $\mathcal{X} = \{x_1, \dots, x_n\}$ , stopień preferencji alternatywy  $x_i$  nad  $x_j$  ( $p_{ij}^k$ ) otrzymywany jest przy użyciu następującej funkcji transformacji:

$$p_{ij}^k = f(o^k(i), o^k(j)) = \frac{1}{2}[1 + F(o^k(j) - o^k(i)) - F(o^k(i) - o^k(j))]. \quad (6.3.5)$$

gdzie  $F$  jest dowolną funkcją niemalejącą.

Przykładowa funkcja spełniająca powyższe twierdzenie zaproponowana w [10] oraz wykorzystywana w przedstawianym systemie wygląda następująco:

$$f^2(u_i^k, u_j^k) = \frac{(u_i^k)^2}{(u_i^k)^2 + (u_j^k)^2}. \quad (6.3.6)$$

### Multiplikatywna relacja preferencji a relacja rozmyta

Ekspert  $e_k$  podaje swoje preferencje poprzez multiplikatywną relację preferencji  $A^k = [a_{ij}^k]$ . W ogólności, zgodnie z propozycją Saaty'ego, jeżeli

$$A' = \{A^k = [a_{ij}^k] : a_{ij}^k \cdot a_{ji}^k = 1, a_{ij}^k \in [1/9, 9], k = 1, \dots, m\}$$

jest multiplikatywną relacją preferencji oraz

$$P' = \{P^k = [p_{ij}^k] : p_{ij}^k + p_{ji}^k = 1, p_{ij}^k \in [0, 1], k = 1, \dots, m\}$$

jest rozmytą relacją preferencji, to szukana funkcja transformacji ma postać:

$$P' = \{P^k = [p_{ij}^k] : p_{ij}^k + p_{ji}^k = 1, p_{ij}^k \in [0, 1], k = 1, \dots, m\}.$$

FIXME: niepoprawny wzor

Ta klasa funkcji jest równoważna klasie funkcji spełniających

$$F : A' \rightarrow P', F(A^k) = P^k \forall k,$$

$$f(x) + f\left(\frac{1}{x}\right) = 1 \text{ oraz } f(9) = 1.$$

Funkcja  $f$  może być zapisana w postaci  $f(x) = \frac{1}{2} + h(x)$ , co implikuje  $h(x) + h\left(\frac{1}{x}\right) = 0$  oraz  $h(9) = \frac{1}{2}$ .

Z drugiej strony, ogólne rozwiązanie równania funkcjonalnego  $l(x \cdot y) = l(x) + l(y)$  na przedziale  $[1, \infty]$  to  $l(z) = C \cdot \ln z, C \in \mathbb{R}$ . W tej sytuacji, zachodzi  $y = \frac{1}{x}$  i podstawiając  $x = 1$  dostajemy  $0 = h(1) + h(1) = 2 \cdot h(1) = 2 \cdot h(x \cdot y)$ . Funkcja  $h$  spełnia  $h(x \cdot y) = h(x) + h(y)$ , czyli  $l(z) = C \cdot \ln z, C \in \mathbb{R}$ . Skoro  $h(9) = \frac{1}{2}$ , to  $C = \frac{1}{2 \cdot \ln 9}$  oraz  $h(z) = \frac{1}{2} \frac{\ln z}{\ln 9} = \frac{1}{2} \log_9 z$ .

Podsumowując, w [7] otrzymano następujące twierdzenie:

**Twierdzenie 6.3.** Dla każdej relacji preferencji  $A^k = [a_{ij}^k]$  nad zbiorem alternatyw  $\mathcal{X} = \{x_1, \dots, x_n\}$ , stopień preferencji alternatywy  $x_i$  nad  $x_j$  ( $p_{ij}^k$ ) otrzymywany jest przy użyciu następującej funkcji transformacji:

$$p_{ij}^k = f^3(a_{ij}^k) = \frac{1}{2}(1 + \log_9 a_{ij}^k). \quad (6.3.7)$$

### Niepełna ocena

Zazwyczaj modele grupowego podejmowania decyzji zakładają, że ekspert jest zawsze w stanie podać swoje preferencje względem wszystkich alternatyw. Jest to bardzo optymistyczne założenie, ponieważ w trakcie trwania dyskusji oraz ze względu na dynamikę zbioru alternatyw nie zawsze istnieje taka możliwość. Z braku czasu, niewystarczającej wiedzy lub danych, albo z innych indywidualnych przyczyn eksperci mogą wyrazić swoje preferencje względem tylko części alternatyw. W takich sytuacjach mówi się o *niepełnej rozmytej relacji preferencji*.

W pracy Alonso, Cabrerizo et al. (2009) została przedstawiona metoda estymacji brakujących wartości. Zapewnia ona addytywną konsystencję z preferencjami podanymi przez eksperta. Jest to iteracyjna procedura, która w całości została zaadoptowana w tej pracy.

### 6.3.2. Proces selekcji: agregacja

Jest to faza, w której definiowana jest zbiorcza rozmyta relacja preferencji  $P^c = [p_{ij}^c]$ , otrzymana poprzez agregację wszystkich indywidualnych rozmytych relacji preferencji otrzymanych w procesie unifikacji  $\{P^1, P^2, \dots, P^m\}$ . Każda wartość  $p_{ij}^c \in [0, 1]$  reprezentuje stopień preferencji alternatywy  $x_i$  nad  $x_j$  według opinii większości ekspertów. Tradycyjnie, większość oznacza pewną liczbę progową. W tym przypadku, stosowana jest rozmyta większość wyrażona przez rozmyty kwantyfikator lingwistyczny.

Każda wartość  $p_{ij}^c$  jest obliczana przy pomocy operatora agregacji OWA. Operator OWA odzwierciedla rozmytą większość obliczając wektor wag przy pomocy kwantyfikatora rozmytego. Zatem zbiorcza rozmyta relacja preferencji otrzymywana jest w następujący sposób:

$$p_{ij}^c = \Phi_Q(p_{ij}^1, \dots, p_{ij}^m). \quad (6.3.8)$$

gdzie  $Q$  jest rozmytym kwantyfikatorem użytym do obliczenia wektora wag dla operatora OWA  $\Phi_Q$ .

### 6.3.3. Proces selekcji: eksploatacja

W tej fazie przekształcana jest globalna informacja o alternatywach w globalny ranking, z której można uzyskać zbiór rozwiązań. Globalny ranking uzyskuje się poprzez użycie dwóch stopni wyboru alternatyw: kwantyfikowany stopień dominacji (QGDD, ang. quantifier guided dominance degree) oraz kwantyfikowany stopień nie-dominacji (QGNDD, ang. quantifier guided non dominance degree).

Kwantyfikowany stopień dominacji  $QGDD_i$  to wielkość dominacji jaką posiada alternatywa  $x_i$  nad pozostałymi w sensie rozmytej większości:

$$QGDD_i = \Phi_Q(p_{i1}^c, p_{i2}^c, \dots, p_{i(i-1)}^c, p_{i(i+1)}^c, \dots, p_{in}^c). \quad (6.3.9)$$

Ta miara pozwala na zdefiniowanie zbioru dominujących alternatyw z maksymalnym stopniem dominacji:

$$X^{QGDD} = \{x_i \in \mathcal{X} : QGDD_i = \sup_{x_j \in \mathcal{X}} QGDD_j\}. \quad (6.3.10)$$

Kwantyfikowany stopień nie-dominacji  $QGNDD_i$  podaje stopień w jakim każda alternatywa nie jest zdominowana przez pozostałe alternatywy w sensie rozmytej większości:

$$QGNDD_i = \Phi_Q(\neg(p_{1i}^s), \neg(p_{2i}^s), \dots, \neg(p_{(i-1)i}^s), \neg(p_{(i+1)i}^s), \dots, \neg(p_{ni}^s)). \quad (6.3.11)$$

gdzie  $p_{ji}^s = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } p_{ji}^c < p_{ij}^c \\ p_{ji}^c - p_{ij}^c & \text{jeżeli } p_{ji}^c \geq p_{ij}^c \end{cases}$  reprezentuje stopień, w jakim alternatywa  $x_i$  jest bezwzględnie zdominowana przez  $x_j$ .

Ta miara pozwala na zdefiniowanie zbioru niezdominowanych alternatyw:

$$X^{QGNDD} = \{x_i \in \mathcal{X} : QGNDD_i = \sup_{x_j \in \mathcal{X}} QGNDD_j\}. \quad (6.3.12)$$

Po zastosowaniu tych dwóch stopni można wyznaczyć rozwiązanie w postaci

$$X_{sol} = X^{QGDD} \cap X^{QGNDD}. \quad (6.3.13)$$

### 6.3.4. Proces konsensusu

Jest to proces w trakcie którego znalezione rozwiązanie  $X_{sol}$  jest porównywane z indywidualnymi rozwiązaniami ekspertów. Dzięki temu możliwe jest zmierzenie konsensusu, czyli w jakim stopniu eksperci zgadzają się z zaproponowanym rozwiązaniem. W prezentowanym modelu grupowego podejmowania decyzji, wykorzysty-

wany jest proces konsensusu zaprezentowany w [11]. Model ten zawiera następujące główne cechy:

- Jest oparty na dwóch kryteriach konsensusu: globalna miara konsensusu nad zbiorem alternatyw  $\mathcal{X}$  oznaczana jako  $C_{\mathcal{X}}$  oraz miara bliskości każdego eksperta nad  $\mathcal{X}$  oznaczanych jako  $P_{\mathcal{X}}^k$ .
- Oba kryteria konsensusu są definiowane przez porównanie indywidualnych rozwiązań z globalnym rozwiązaniem, używając jako kryterium porównawczego pozycji alternatyw w każdym z rozwiązań.

Początkowo zakłada się, że w każdym nietrywialnym problemie grupowego podejmowania decyzji, eksperci nie są zgodni w swoich opiniach i osiągnięcie konsensusu musi być traktowane jako proces iteracyjny. Oznacza to, że porozumienie można uzyskać dopiero po kilku rundach konsultacji. W każdej rundzie system oblicza obie miary, konsensusu oraz bliskości. Miara konsensusu ocenia istniejące porozumienie wśród ekspertów, natomiast miary bliskości są wykorzystywane w procesie informacji zwrotnej wspierając w ten sposób fazę dyskusji procesu konsensusu.

Głównym problemem jest znalezienie sposobu, aby indywidualne rankingi poszczególnych ekspertów były zbieżne, a zatem, jak wspierać ekspertów w uzyskaniu porozumienia. W tym celu, ustalany jest z góry poziom konsensusu (CL) jaki muszą uzyskać eksperci w danym przypadku. Kiedy miara konsensusu osiągnie ustalony poziom, wtedy proces podejmowania decyzji jest zakończony i jest prezentowane wybrane rozwiązanie. Jeżeli nie osiągnięto odpowiedniego poziomu konsensusu, preferencje ekspertów muszą ulec modyfikacji.

### 6.3.5. Proces konsensusu: wskaźniki konsensusu

Każdy z parametrów konsensusu wymaga wykorzystania funkcji odległości  $d(V^k, V^c)$ , aby uzyskać poziom porozumienia pomiędzy indywidualnym rozwiązaniem eksperta  $e_k$ ,  $V^k = (V_1^k, \dots, V_n^k)$ , gdzie  $V_i^k$  to pozycja alternatywy  $x_i$  w rozwiązaniu  $k$  – tego eksperta oraz globalnym rozwiązaniem  $V^c = (V_1^c, \dots, V_n^c)$ , gdzie  $V_i^c$  to pozycja alternatywy  $x_i$  w globalnym rozwiązaniu. W tym celu można korzystać z wielu różnych metod, takich jak na przykład odległość euklidesowa albo kosinus i sinus kąta między wektorami. W tym modelu wykorzystywana jest rzeczywista wektory preferencji, ponieważ identyczne rankingi alternatyw mogą mieć przypisane różne wektory stopni wyboru. Jako przykład rozpatrzone zostaną dwa wektory uporządkowania alternatyw:  $[(3; 0.8), (1; 1), (2; 0.9), (4; 0.4)]$  oraz  $[(3; 0.4), (1; 0.8), (2; 0.5), (4; 0.1)]$ , gdzie  $(3; 0.4)$  w drugim wektorze oznacza, że pierwsza alternatywa jest na trzeciej pozycji ze stopniem wyboru 0.4. Zatem, w obu wektorach pierwsza alternatywa jest na trzeciej pozycji, ale w każdym z innym stopniem wyboru. Gdyby używać stopni wyboru przy porównywaniu konsensusu to można by mówić o pełnym konsensusie, co jest w

jaka rzeczywista

rzeczywistości bardzo trudne do osiągnięcia. Tym bardziej, że w systemie wykorzystywane są różne metody wprowadzania preferencji.

Zatem, określanie wskaźników konsensusu odbywa się w następujący sposób:

1. Obliczana jest bliskość każdego eksperta dla każdej alternatywy porównując pozycję danej alternatywy w rozwiązaniu eksperta oraz zbiorczym. Porównanie to jest wykonywane przy pomocy funkcji  $p_k(x_i) = p(V^k, V^c)(x_i) = f(|V_i^c - V_i^k|)$  odzwierciedlającej bliskość obu pozycji. Oznacza to, że taka funkcja musi być funkcją rosnącą. Jako funkcję ogólną przyjmuje się  $f(x) = (a \cdot x)^b, 1 \geq b \geq 0$ , a w tym szczególnym przypadku rozważana będzie funkcja z  $a = \frac{1}{n-1}$ :

$$p_k(x_i) = p(V^k, V^c)(x_i) = f(|V_i^c - V_i^k|) = \left(\frac{|V_i^c - V_i^k|}{n-1}\right)^b \in [0, 1]. \quad (6.3.14)$$

Parametr  $b$  kontroluje rygorystyczność procesu, to znaczy, jeżeli wartość  $b$  jest bliska 1, to zmniejsza się rygorystyczność i tym samym, liczba rund. Najczęściej przyjmowane wartości to: 0.5, 0.7, 0.9, 1.

2. Obliczany jest stopień konsensusu każdego z ekspertów na każdej alternatywie:

$$C(x_i) = 1 - \sum_{i=1}^m \frac{p_k(x_i)}{m}. \quad (6.3.15)$$

3. Miara konsensusu nad zbiorem alternatyw  $C_{\mathcal{X}}$  obliczana jest przez agregację stopni konsensusu z poprzedniego kroku. W [11] agregacja robiona jest w taki sposób, aby stopnie konsensusu dla wstępnego zbioru rozwiązań  $\mathcal{X}_{sol}$  miały większą wagę. Operator agregacji, który pozwala na tego typu operację to S-OWA OR-LIKE zdefiniowany przez Yagera i Fileva.

$$\begin{aligned} C_{\mathcal{X}} &= S_{OWA OR\_LIKE}(\{C(x_s); x_s \in \mathcal{X}_{sol}\}, \{C(x_t); x_t \in \mathcal{X} - \mathcal{X}_{sol}\}) = \\ &= (1 - \beta) \cdot \sum_{t=1}^v \frac{C(x_t)}{v} + \beta \cdot \sum_{s=1}^{\gamma} \frac{C(x_s)}{\gamma}, \end{aligned} \quad (6.3.16)$$

gdzie  $\gamma$  to moc zbioru  $\mathcal{X}_{sol}$ ,  $v$  to moc zbioru  $\mathcal{X} - \mathcal{X}_{sol}$ , a  $\beta \in [0, 1]$ .  $\beta$  jest parametrem kontrolującym zachowanie OR-LIKE operatora agregacji. W tym konkretnym przypadku kontroluje wpływ stopni konsensusu dla alternatyw ze zbioru rozwiązań na globalną miarę konsensusu. Im wyższa wartość tym większy wpływ.

4. Miara bliskości indywidualnego zbioru rozwiązań  $i$ -tego eksperta do rozwiązania zbiorczego, oznaczana  $P_{\mathcal{X}}^i$ , obliczana jest analogicznie do miary konsensusu.

$$C_{\mathcal{X}} = S_{OWA OR\_LIKE}(\{1 - |p_i(x_s)|; x_s \in \mathcal{X}_{sol}\}, \{1 - |p_i(x_t)|; x_t \in \mathcal{X} - \mathcal{X}_{sol}\}) \quad (6.3.17)$$

Kiedy miara bliskości eksperta jest bliska jedności, oznacza to, że jego wkład w osiągnięcie konsensusu jest wysoki.

### 6.3.6. Dynamiczny wybór alternatyw

Idea dynamicznego wyboru alternatyw została przedstawiona w rozdziale na temat modelowania grupowego podejmowania decyzji. W każdym momencie procesu pod uwagę brany jest tylko podzbiór wszystkich dostępnych rozwiązań. Są to alternatywy, na które oddano głosy lub które zostały eksplicite dodane do procesu przez ekspertów.

Metoda wyboru alternatyw dzieli się na dwie fazy:

#### Faza I: Usunięcie alternatyw

Faza zarządzająca rozwiązaniami, które znajdują się w zbiorze możliwych rozwiązań, ale z przyczyn zewnętrznych nie są w danym momencie dostępne albo zostały słabo ocenione i mają niski stopień dominacji (QGDD), tzn. poniżej ustalonego minimalnego wskaźnika dominacji. W takim przypadku system sprawdza czy są dostępne nowe alternatywy lub, jeżeli nie ma takich, czy wcześniej odrzucone rozwiązania są ponownie dostępne. Następnie system przedstawia rekomendację zamiany i prosi o akceptację ze strony ekspertów. W przypadku niedostępności rozwiązania i braku zamienników, jest ono usuwane ze zbioru bez potwierdzenia.

#### Faza II: Dodanie alternatyw

Faza odpowiedzialna za sytuację, w której w czasie dyskusji zostało zaproponowane całkowicie nowe rozwiązanie. W tym przypadku eksperci informowani są o pojawieniu się nowej alternatywy, która będzie brana pod uwagę po pierwszej ocenie preferencji przez któregoś z ekspertów.

### 6.3.7. Informacja zwrotna

W celu ułatwienia dyskusji oraz osiągnięcia konsensusu, system wspomagania decyzji grupowej wykorzystuje mechanizm informacji zwrotnej, który w pewnym stopniu jest w stanie zastąpić działania moderatora. Głównym problemem jest nakłonienie ekspertów do zmiany indywidualnego stanowiska w celu uzyskania zbieżnych preferencji, a przez to wspólnego porozumienia. Dopóki stopień konsensusu nie osiągnął wymaganego poziomu, określonego przed rozpoczęciem procesu decyzyjnego, opinie ekspertów mogą być modyfikowane.

Do zbudowania mechanizmu informacji zwrotnej wykorzystywane są wskaźniki konsensusu, na których podstawie można stworzyć rekomendacje nakłaniające do zmiany opinii oraz zawężenia stanowiska. Informacja zwrotna bazuje na prostych zasadach:

1. Każdy ekspert  $e_i$  jest klasyfikowany za pomocą obliczonej wcześniej miary bliskości  $P_{\mathcal{X}}^i$ , co daje informację na temat stanowiska eksperta względem każdej

alternatywy ze zbioru rozwiązań oraz jego zgodność ze wspólną opinią.

2. Jeżeli ekspert jest wysoko w rankingu to znaczy, że nie powinien zmieniać swoich preferencji. W przeciwnym wypadku, im niżej w rankingu, tym bardziej reedykalnie opinia powinna zostać zmieniona. Innymi słowy, eksperci których preferencji powinny zostać zmienione to ci, których indywidualny zbiór rozwiązań jest bardzo rozbieżny ze zbiorowym rozwiązaniem.

Dla wybranego na podstawie powyższych zasad zbioru ekspertów generowane są następujące rekomendacje w języku naturalnym:

- Jeżeli miara bliskości eksperta dla alternatywy  $p_i(x_j)$  jest dodatnia, to system wygeneruje rekomendację: „Zmniejsz wartości preferencji dla alternatywy  $x_j$ ”.
- Jeżeli miara bliskości eksperta dla alternatywy  $p_i(x_j)$  jest ujemna, to system wygeneruje rekomendację: „Zwiększ wartości preferencji dla alternatywy  $x_j$ ”.

# Rozdział 7

## Prototyp aplikacji TDM

W tym rozdziale prezentowany jest prototyp systemu wspomagania decyzji grupowej TDM Team Decision Maker. Jest to oparta na architekturze klient-serwer aplikacja internetowa, która implementuje teoretyczny model przedstawiony w poprzednim rozdziale. Ze względu na złożoność systemu oraz samego modelu teoretycznego na potrzeby tej pracy powstał jedynie prototyp, który wykorzystuje tylko część funkcjonalności opisanych wcześniej. Niemniej jednak, jest to wystarczające, aby zrozumieć zasadę działania oraz ideę systemu wspomagania decyzji grupowej w warunkach dynamicznych.

W pierwszej części będzie omówiony aspekt informatyczny systemu, czyli wykorzystane technologie, architektura oraz przepływ pracy (ang. work flow), a także konkretne osadzenie modułów modelu teoretycznego. Dalej opisany zostanie przypadek użycia wraz z wynikami obliczeń wykonywanych przez system. Zobrazowana zostanie dynamika procesu oraz mobilność rozwiązania. Możliwość uczestnictwa w procesie podejmowania decyzji bez obowiązku fizycznej obecności w jednym miejscu, a nawet bez konieczności zdalnego spotkania o określonej godzinie to jedna z większych zalet systemu.

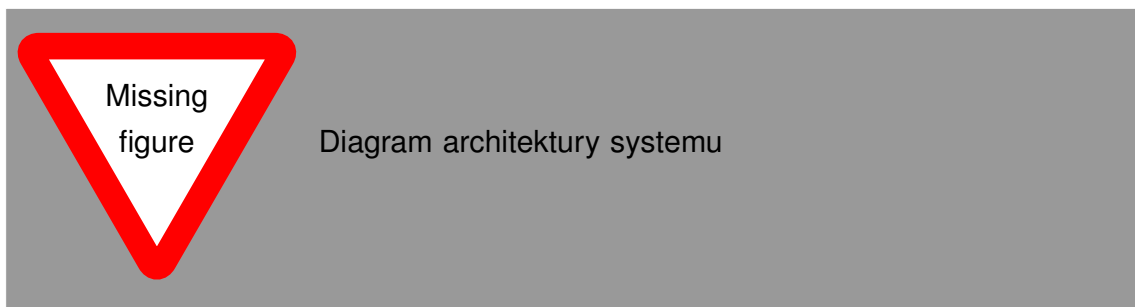
Jednak głównym celem tego rozdziału, zaraz po samej prezentacji systemu, jest podkreślenie tego, jak model matematyczny współgra z rzeczywistą implementacją i zastosowaniem w praktyce.

### 7.1. Architektura systemu TDM

Prototyp aplikacji TDM wykonany jest w architekturze klient-serwer, gdzie serwer oparty jest na technologii JavaEE i udostępnia poprzez sieć usługi wykorzystywane przez aplikacje klienckie. Do komunikacji został wykorzystany wzorzec REST (ang. Representational State Transfer) oparty na protokole HTTP. Dzięki temu system jest otwarty na powstawanie nowych aplikacji klienckich napisanych w różnych technologiach. Na potrzeby tej pracy, w ramach prototypu, jako klient wzorcowy powstała



aplikacja przeglądarkowa. Ogólny diagram architektury znajduje się na rysunku.



### 7.1.1. Wykorzystane technologie

Głównym kryterium doboru technologii była możliwie jak największa dostępność aplikacji na wszystkie nowoczesne urządzenia stacjonarne oraz, co ważniejsze, mobilne (telefony, tablety). Istotną rzeczą była również łatwość wdrożenia oprogramowania. Stąd też zdecydowano się na język Java wraz z platformą JavaEE po stronie serwera, co zapewnia łatwą skalowalność i przenoszalność, oraz na stronę internetową po stronie klienta, ponieważ większość obecnie dostępnych urządzeń posiada zainstalowaną wydajną przeglądarkę internetową.

Lista zastosowanych technologii:

- klient www
  - Google Web Toolkit 3.5
  - GWT-Platform 1.0-RC-3
  - CSS 3
  - GWT-Bootstrap 2.2.1.0
  - Bootstrap from Twitter 2.3.1
  - PhoneGap 2.7.0
- serwer
  - Google AppEngine 1.8.0
  - Spring Framework 3.2.2
  - Spring Security 3.1.3
  - Spring Social 1.1.0
  - Java Data Objects 3.0
  - DataNucleus 3.1.1
  - Scala 2.10.1

### 7.1.2. Aplikacja kliencka

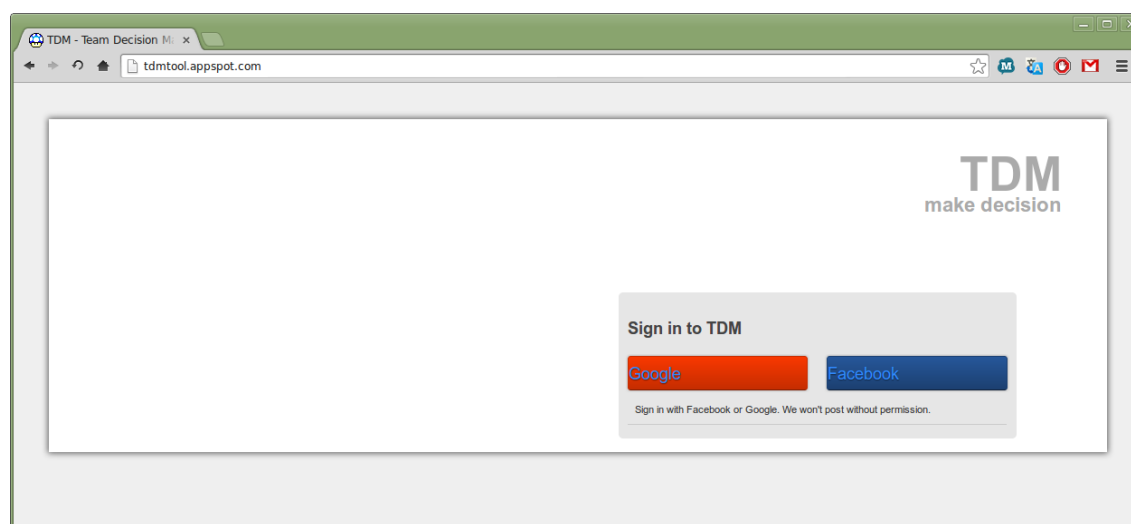
Powstałe w ramach prototypu oprogramowanie klienckie to strona internetowa stworzona w technice AJAX (ang. Asynchronous JavaScript and XML) oraz SPA (ang. single-page application). Całość została napisana w Google Web Toolkit, platformie programistycznej pozwalającej na pisanie w języku Java i kompilację do JavaScript.

Wykorzystane technologie oraz techniki pozwoliły doskonale przystosować aplikację nie tylko do użytku na standardowych przeglądarkach internetowych, ale, co ważniejsze, na urządzeniach mobilnych. Brak potrzeby przeładowywania strony oraz niewielka ilość danych otrzymywanych od serwera wpasowuje się w ograniczony dostęp do Internetu oraz możliwości przeglądarki na tego typu systemach.

Poniżej opisane są podstawowe ekrany oraz interakcja z użytkownikiem.

#### Autentykacja

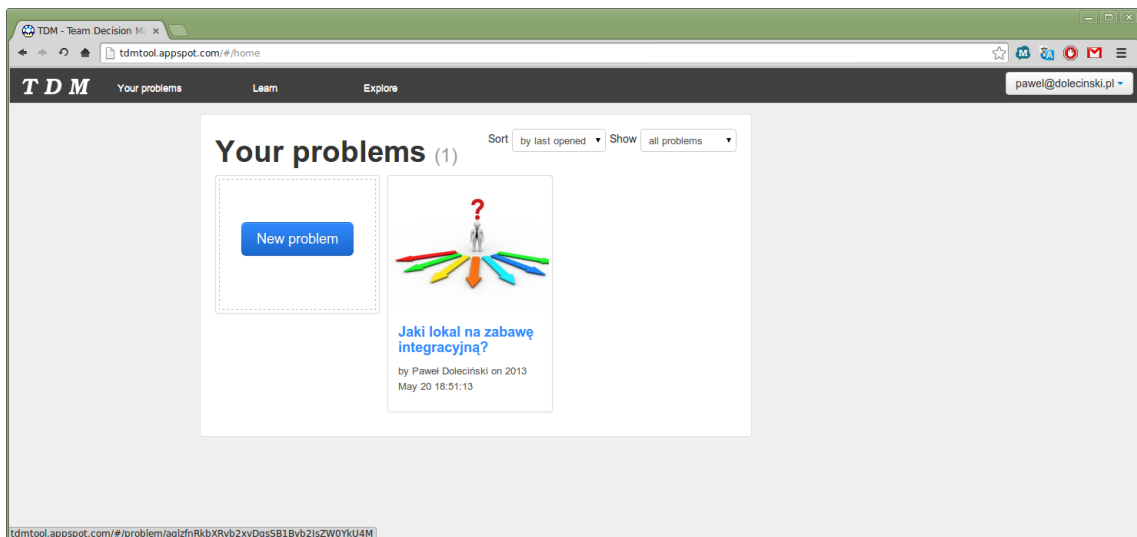
Po wejściu na stronę aplikacji w przeglądarce, jako pierwszy pojawi się ekran autentykacji. W ramach prototypu zrezygnowano z zarządzania kontami i możliwości rejestracji. Jedynym sposobem dostępu do TDM jest skorzystanie z posiadanego konta Google albo konta z serwisu społecznościowego Facebook. Docelowo aplikacja będzie integrować się z serwisami społecznościowymi w celu pobrania informacji na temat eksperta (np. zainteresowania, ulubione miejsca) oraz listy znajomych, których może zaprosić do pomocy w rozwiązaniu problemu lub podjęciu decyzji.



Rys. 7.1.1: Autentykacji do aplikacji TDM

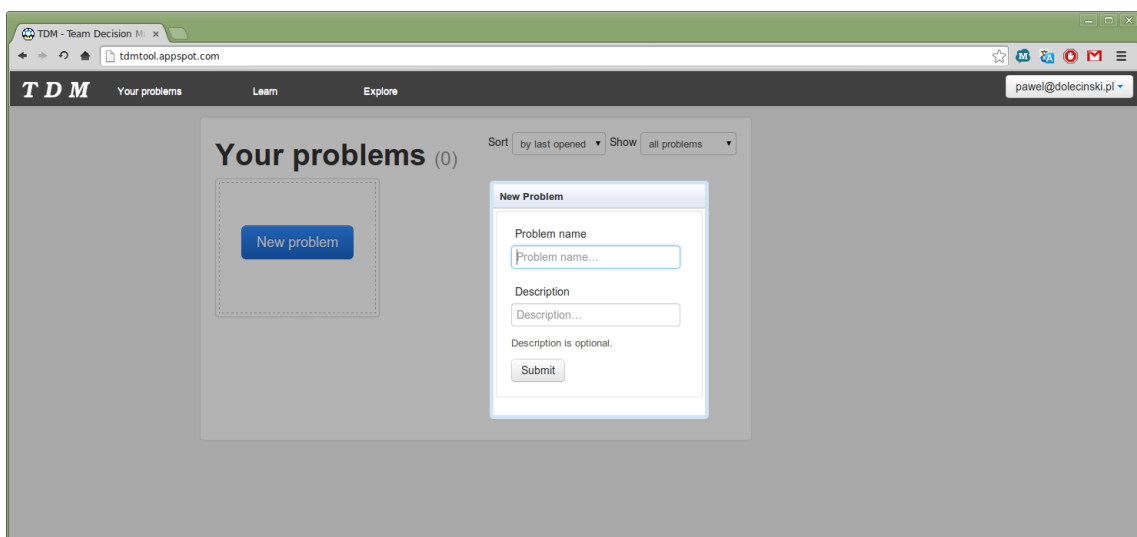
#### Lista problemów

Po zalogowaniu użytkownik zobaczy ekran z dostępną listą problemów decyzyjnych do rozwiązania. W tym miejscu widać elementy stworzone przez zalogowanego

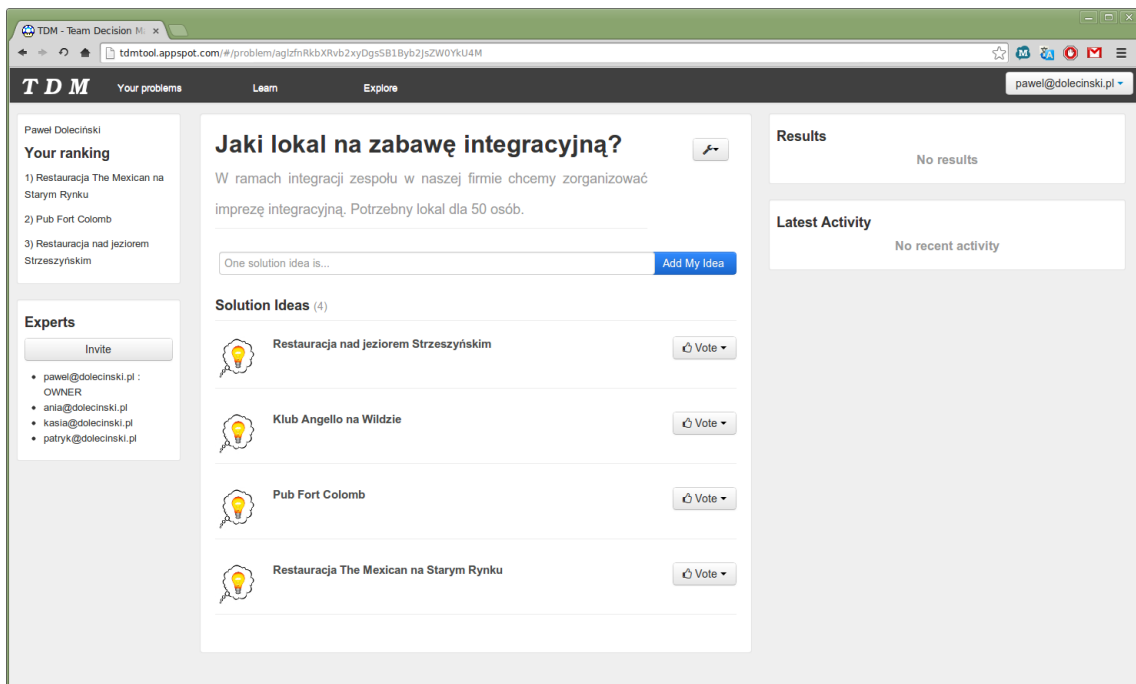


Rys. 7.1.2: Lista aktualnych problemów decyzyjnych

eksperta oraz te, do których został zaproszony. Na tym ekranie można również rozpocząć całkowicie nowy proces decyzyjny poprzez wybranie opcji „New problem”. Wyświetlone zostanie okno dialogowe z prośbą o podanie nazwy problemu oraz jego opcjonalnego opisu (rysunek 7.1.3). Jak widać, aplikacja stara się jak najbardziej uprościć proces, a tym samym go przyspieszyć. Stąd wszystkie techniczne parametry opisu problemu przyjmują optymalne dla większości przypadków wartości domyślne z możliwością późniejszej modyfikacji.



Rys. 7.1.3: Okno dodawania nowego problemu decyzyjnego

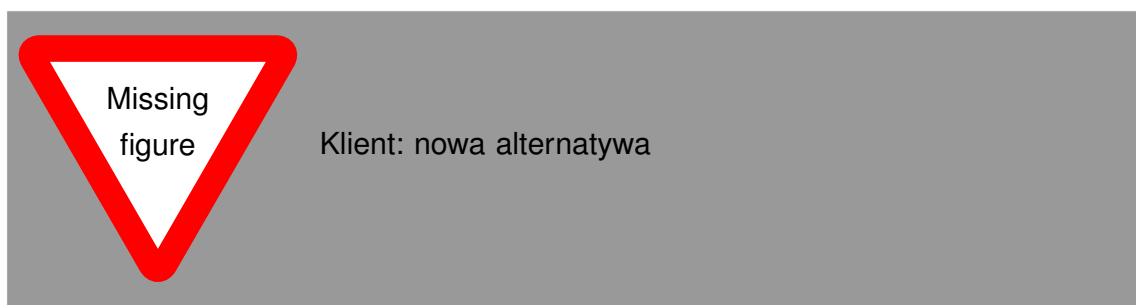


Rys. 7.1.4: Burza mózgów

### Burza mózgów

Centralne miejsce aplikacji. To tutaj odbywa się cała dyskusja. Z poziomu ekranu problemu decyzyjnego jest dostęp do dodawania nowych alternatyw, komentowania, głosowania. Widać aktualne wyniki oraz powiadomienia systemowe. Każdy z tych elementów został omówiony bardziej szczegółowo w kolejnych sekcjach.

### Nowa alternatywa

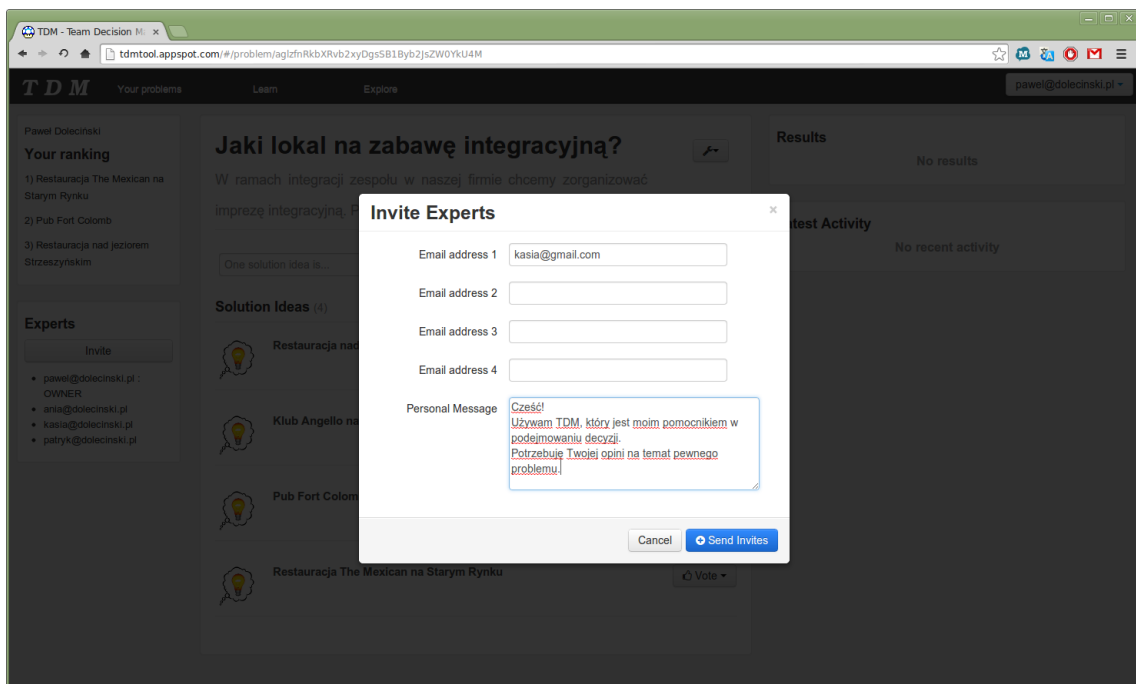


Dodanie nowej alternatywy ogranicza się do wpisania kilku słów opisu i naciśnięcia jednego przycisku. Natychmiast po tym propozycja rozsyłana jest do pozostałych ekspertów, a na ekranie pojawia się dodatkowe okno z możliwością bardziej szczegółowego przedstawienia swojego pomysłu. Jest tam miejsce na dyskusję, która jest całkowicie anonimowa. Anonimowe jest też samo dodanie alternatywy. Zabieg ten pomaga uniknąć ekspertom padnięcia ofiarami opisanego wcześniej grupowego myślenia.

### Członkowie grupy

Po lewej stronie widoku z „burzą mózgów” widoczna jest lista wszystkich uczestników dyskusji, czyli tak zwanych ekspertów. Zawsze jeden z członków grupy jest wyróżniony. Jest to tak zwany właściciel, czyli osoba, która stworzyła problem. To do właściciela należy ostatnie słowo, czyli możliwość zakończenia całego procesu w każdej chwili. Na liście członków grupy pokazywana jest też aktualna dostępność każdej osoby.

Zaproszenie nowych ekspertów sprowadza się do podania adresów e-mail oraz kilku słów zachęty. Na każdy z podanych adresów zostanie wysłana wiadomość e-mail z zaproszeniem do udziału w dyskusji wraz z adresem dostępu. Wejście na podany adres wymaga od użytkownika jedynie zalogowania do systemu, po czym od razu możliwe jest uczestnictwo w procesie decyzyjnym.



Rys. 7.1.5: Zapraszanie ekspertów



## Głosowanie i wyniki

Ostatnim ważnym elementem prototypu klienta aplikacji TDM jest możliwość wprowadzania swoich preferencji względem zaproponowanych alternatyw oraz, prezentowane po prawej stronie widoku „burzy mózgów”, statystyki głosowań i rekomendowane przez system rozwiązanie optymalne dla grupy.

### 7.1.3. Serwer

Serwer to serce projektu i jednocześnie podstawowa implementacja modelu systemu grupowego podejmowania decyzji przedstawionego w poprzednim rozdziale.

Całość zaimplementowana w języku Java i Scala, w oparciu o technologię JavaEE oraz Spring Framework. Aplikacja TDM została wdrożona na Google App Engine, platformie działającej jako chmura obliczeniowa udostępniona na zasadzie platforma jako usługa (PaaS, ang. platform as a service).

Architektura serwera może być przedstawiona na dwa sposoby. Pierwszy to podział na moduły logiczne odpowiadające modułom modelu teoretycznego. Drugi to podział na warstwy przepływu danych oraz moduły odpowiedzialne za pracę w każdej z warstw.

## Moduły logiczne

Przed szczegółowym opisem modułów warto wspomnieć, że użytkownik po wysłaniu swoich preferencji nie czeka na odpowiedź serwera. Może kontynuować dyskusję, zgłaszać nowe pomysły rozwiązań, a nawet wysłać nowe preferencje. Serwer sam poinformuje o nowych wynikach głosowania jak tylko będzie gotowy. Dzięki temu zachowana jest dynamika i naturalność dyskusji oraz całego procesu. Wszystkie komunikaty wysyłane do serwera oraz zwracane przez serwer są całkowicie asynchroniczne.

- *Moduł unifikowania preferencji.* Jest odpowiedzialny za zunifikowanie preferencji nadesłanych przez ekspertów przy użyciu funkcji transformacji zaproponowanych w modelu teoretycznym. Co prawda prototyp klienta TDM pozwala podać preferencje tylko przy pomocy funkcji użyteczności, jednak serwer w pełni obsługuje wszystkie cztery możliwości oceny alternatyw. Ze względu na funkcyjną postać transformacji, cały moduł został zaimplementowany w języku Scala z rodziny języków dla maszyny wirtualnej Javy, który wspiera paradygmat programowania funkcyjnego. Zunifikowane preferencje zapisywane są w bazie danych lub, jeżeli dany użytkownik głosował już, to dane w bazie są nadpisywane bądź uzupełniane.

- *Moduł selekcji.* Zaraz po zunifikowaniu ocen ekspertów, serwer przechodzi do fazy selekcji, czyli próby wyznaczenia najlepszego w danej chwili rozwiązania. Wyniki obliczeń propagowane są wśród wszystkich podłączonych w danym momencie aplikacji klienckich oraz zapisywana w bazie danych. Dodatkowo w bazie zapisywane są pośrednie wyniki, czyli zagregowana relacja preferencji oraz stopnie dominancji.
- *Moduł konsensusu.* Zgodnie z metodami obliczeń z modelu sprawdzany jest poziom konsensusu grupy. Innymi słowy, ten fragment serwera odpowiedzialny jest za poinformowanie użytkowników czy mogą zakończyć dyskusję, czy jeszcze nie. Przeciwnie do innych systemów grupowego podejmowania decyzji, serwer TDM nie kończy całego procesu i nie podaje finalnego rozwiązania w przypadku osiągnięcia minimalnego poziomu konsensusu. Rozsyłana jest jedynie informacja, że taki poziom został osiągnięty wraz z sugestią zakończenia. Każdorazowo moduł rozsyła także statystyki dotyczące głosowań, czyli ilu z zaproszonych ekspertów wyraziło swoje zdanie i w jakim stopniu to zdanie jest kompletne.
- *Moduł informacji zwrotnej.* Jeżeli nie został osiągnięty minimalny poziom konsensusu, to moduł ten będzie się starał „pchnąć” użytkowników w stronę osiągnięcia tego poziomu. Na podstawie danych zebranych w poprzednich modułach generowane są rekomendacje dla eksperta, który nadesłał preferencje. O ile moduł selekcji i moduł konsensusu rozsyłają wyniki obliczeń do wszystkich aktywnych użytkowników, o tyle moduł informacji zwrotnej wysyła rekomendacje jako odpowiedź na nadesłane preferencje.
- *Moduł zarządzania problemami.* Część systemu niewchodząca w skład samego modelu teoretycznego, jednak niezbędna do pracy całości. Jest to moduł odpowiedzialny za tworzenie, pobieranie, archiwizację problemów.

### Architektura trójwarstwowa

Architektura trójwarstwowa (ang. three-tier architecture) to koncepcja, w której interfejs użytkownika, przetwarzanie danych i składowanie danych są rozwijane w postaci osobnych modułów. Prototyp serwera TDM jest zaimplementowany właśnie w taki sposób.

**Warstwa interfejsu użytkownika** (ang. presentation layer) zaimplementowana z użyciem biblioteki Spring MVC jest odpowiedzialna za bezpośrednią komunikację z klientem. Nasłuchuje na żądania, po wstępnej walidacji i transformacji przesyła dane do niższej warstwy. Komunikacja przebiega tak samo w drugą stronę, to znaczy kiedy warstwa logiki aplikacji posiada dane dla klienta, to warstwa interfejsu użytkownika odpowiada za wysłanie tych danych. Na tym poziomie zdefi-

niowany jest protokół komunikacji REST oraz serializacja/deserializacja obiektów języka Java do formatu JSON (ang. JavaScript Object Notation).

**Warstwa przetwarzania danych** zwana inaczej warstwą logiki biznesowej (ang. business logic layer). Opisane wcześniej moduły logiczne zaimplementowane są właśnie na tym poziomie. Jest to warstwa, która skupia się na samym modelu i logice bez wchodzenia w szczegóły techniczne wykorzystywanej technologii. Dzięki temu w każdym momencie możliwa jest łatwa zmiana protokołu komunikacji z klientem albo zmiana wykorzystywanej bazy danych lub serwera. Łatwiejsze i wygodniejsze jest także testowanie samego modelu.

**Warstwa składowania danych** zwana inaczej warstwą persystencji (ang. persistence layer). Najniższa warstwa, odpowiedzialna za zapis wyników obliczeń i danych pochodzących z warstwy logiki biznesowej. Prototyp TDM z uwagi na wykorzystanie Google App Engine, korzysta z obiektowej bazy danych zamiast tradycyjnej relacyjnej, co daje elastyczny i łatwo rozszerzalny schemat bazy. Jednocześnie nie jest potrzebna bezpośrednia komunikacja z bazą danych, ponieważ został użyty standard persystencji obiektów Javy JDO (ang. Java Data Objects), który jest niezależny od dostawcy wykorzystywanej bazy.

Jak widać, cały serwer jest bardzo mocno zmodularyzowany, co pozwala na duże możliwości rozszerzania o nowe funkcjonalności oraz w przyszłości zmiany wykorzystywanych technologii na nowsze.

## 7.2. Studium przypadku

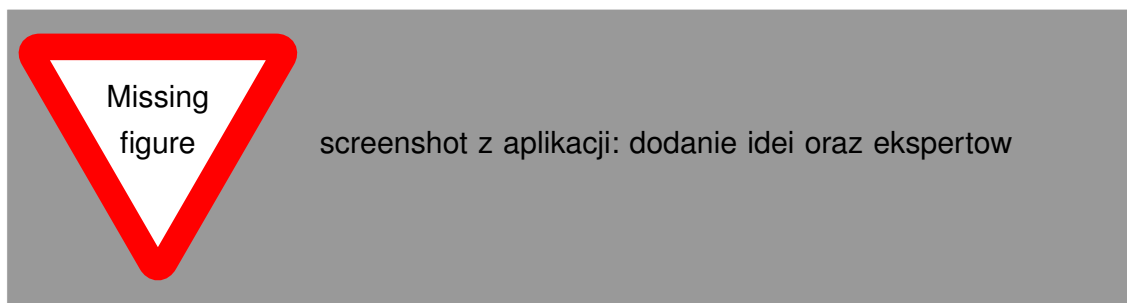
W tym podrozdziale zilustrowany jest prosty, ale prawdziwy przykład wykorzystania systemu wpierania decyzji grupowej. Warto zwrócić uwagę na zachowanie systemu w przypadku złożonych problemów, kiedy to zbiór alternatyw może bardzo się zmieniać w krótkich odstępach czasu, jak również zbiór ten może być bardzo duży. Model systemu nie nakłada żadnych ograniczeń ilościowych na alternatywy, może też obsługiwać dowolną liczbę ekspertów. Aby pokazać działanie prototypu, będziemy śledzić przepływ informacji przedstawiony wcześniej.

Jako studium przypadku została wybrana grupa czterech osób - współpracowników, którzy muszą wybrać lokal na spotkanie integracyjne. Wszyscy na co dzień pracują w różnych krajach i w różnych strefach czasowych, co uniemożliwia wspólne spotkanie w celu dokonania wyboru.

W pierwszej kolejności jeden z członków grupy (zwany dalej moderatorem) musi stworzyć nowy problem w aplikacji TDM. Trzeba podać nazwę problemu oraz opcjonalnie opis wyjaśniający problem. Następnie, aby proces miał sens, trzeba podać



przynajmniej dwie alternatywy oraz zaprosić do dyskusji pozostałe osoby. W tym przykładzie na początku dostępnych jest pięć propozycji lokali zebranych w tabeli 7.2.1.



Aplikacja samodzielnie inicjalizuje niezbędne dla obliczeń parametry problemu decyzyjnego. Samodzielnie można zmienić maksymalny podzbiór alternatyw brany pod uwagę, który domyślnie przyjmuje wartość nieskończoną. Dla prostoty przykładu oraz lepszego pokazania dynamiki alternatyw maksymalny podzbiór alternatyw ustawiony jest na 4. Wszystkie wartości parametrów zebrane zostały w tabeli 7.2.2.

Tab. 7.2.1: Początkowe propozycje rozwiązania problemu

ID	Nazwa	Opis
$x_1$	Lokal 1	Miejsca: 75 Cena: 100zł
$x_2$	Lokal 2	Miejsca: 50 Cena: 90zł
$x_3$	Lokal 3	Miejsca: 60 Cena: 120zł
$x_4$	Lokal 4	Miejsca: 100 Cena: 60zł
$x_5$	Lokal 5	Miejsca: 75 Cena: 70zł

Tab. 7.2.2: Początkowe parametry problemu

Nazwa	Wartość	Opis
$b$	1	Kontroluje rygorystyczność procesu przy obliczaniu miar bliskości
$\beta$	0.5	kontroluje zachowanie OR-LIKE operatora agregacji
minConsDegree	0.8	Minimalny poziom konsensusu
minProxDegree	0.7	Minimalny poziom bliskości
minQGDD	0.2	Minimalny poziom dominancji
DSSize	4	Maksymalny podzbiór alternatyw

Należy zwrócić uwagę, że początkowy zbiór wszystkich rozwiązań składa się z pięciu lokali  $\mathcal{X} = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ , natomiast założono, że eksperci powinni w jednym momencie skupić się na ocenie maksymalnie czterech. Zatem początkowy podzbiór rozwiązań składa się tylko z pierwszych czterech zaproponowanych  $\mathcal{X}' = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ .

Dla uproszczenia obliczeń oraz ze względu na ograniczoną ilość miejsca w tej pracy, pokazane zostaną tylko dwie „rundy”. Zakładamy też, że każda runda na wej-

ściu otrzymuje kompletny zbiór preferencji od każdego z ekspertów. Warto natomiast pamiętać, że cały proces uruchamiany jest każdorazowo dla pojedynczego głosu.

### 7.2.1. Pierwszy etap w procesie decyzyjnym

Na rysunku pokazane są preferencje ekspertów wyrażone za pomocą funkcji użyteczności.

#### Etap unifikowania

W pierwszej kolejności preferencje podane przez ekspertów muszą zostać podane unifikacji, czyli wyrażone za pomocą rozmytej relacji preferencji. Moduł unifikowania wykorzystuje wzory transformacji opisane w modelu teoretycznym, co daje następujące wyniki:

$$P^1 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.16 & 0.33 & 0 \\ 0.83 & 0.5 & 0.66 & 0.33 \\ 0.66 & 0.33 & 0.5 & 0.16 \\ 1 & 0.66 & 0.83 & 0.5 \end{pmatrix}, P^2 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.57 & 0.88 & 0.94 \\ 0.43 & 0.5 & 0.84 & 0.92 \\ 0.22 & 0.16 & 0.5 & 0.69 \\ 0.06 & 0.08 & 0.21 & 0.5 \end{pmatrix},$$

$$P^3 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.9 & 0.7 \\ 0.7 & 0.5 & 1 & 0.8 \\ 0.1 & 0 & 0.5 & 0.2 \\ 0.3 & 0.2 & 0.8 & 0.5 \end{pmatrix}, P^4 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.66 & 0.97 & 0.82 \\ 0.34 & 0.5 & 0.91 & 0.66 \\ 0.03 & 0.09 & 0.5 & 0.18 \\ 0.18 & 0.34 & 0.82 & 0.5 \end{pmatrix}.$$

#### Proces selekcji

Wykorzystując kryterium rozmytej większości oraz operator OWA z wektorem wag  $W = [0.5, 0.2, 0.17, 0.13]$  („większość”), w fazie agregacji obliczana jest zbiorowa rozmyta relacja preferencji:

$$P^c = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.52 & 0.86 & 0.7 \\ 0.48 & 0.5 & 0.91 & 0.8 \\ 0.14 & 0.09 & 0.5 & 0.2 \\ 0.25 & 0.23 & 0.56 & 0.5 \end{pmatrix}.$$

Następnie moduł eksploatacji przedstawi proponowane rozwiązanie problemu. W oparciu o operator OWA z wektorem wag  $W = [0.07, 0.67, 0.26]$  („większość”) obliczane są stopnie dominancji (QGDD):  $QGDD_1 = 0.696$ ,  $QGDD_2 = 0.702$ ,  $QGDD_3 = 0.146$ ,  $QGDD_4 = 0.265$ . Są to wartości, które reprezentują dominancję jaką jedna alternatywa ma nad „większością” pozostałych alternatyw według „większości” ekspertów.

Na podstawie powyższych wyników widać, że obecnie najlepszym kandydatem jest lokal drugi  $x_2$ , a tymczasowe rozwiązanie można zaprezentować jako uporządkowaną listę  $\{x_2, x_1, x_4, x_3\}$ .

### Proces konsensusu

Pierwszy krok został już osiągnięty. System może przedstawić proponowane rozwiązanie na podstawie zgłoszonych preferencji ekspertów. Ale to nie koniec. W module konsensusu system musi sprawdzić w jakim stopniu eksperci są zgodni ze sobą, tzn. czy zaproponowane wyżej rozwiązanie jest rozwiązaniem odpowiadającym większości grupy.

Najpierw moduł musi ustalić indywidualne dla każdego eksperta uporządkowanie alternatyw na tej samej zasadzie, co obliczanie zbiorczego rozwiązania:

$$e_1 : \{x_4, x_2, x_3, x_1\}, \quad e_2 : \{x_1, x_2, x_3, x_4\},$$

$$e_3 : \{x_1, x_2, x_4, x_3\}, \quad e_4 : \{x_2, x_1, x_4, x_3\}.$$

Stopnie konsensusu dla każdej z alternatyw to:  $C(x_1) = 0.55, C(x_2) = 0.66, C(x_3) = 0.77, C(x_4) = 0.66$ . Miara konsensusu wynosi  $C_{\mathcal{X}} = 0.67$ . Ostatecznie obliczone miary bliskości wynoszą:  $P_{\mathcal{X}}^1 = 0.55, P_{\mathcal{X}}^2 = 0.67, P_{\mathcal{X}}^3 = 0.78, P_{\mathcal{X}}^4 = 1$ .

Jasno widać, że konsensus nie osiągnął wymaganej wartości minimalnej ( $C_{\mathcal{X}} < 0.8$ ), czyli aplikacja powinna kontynuować kolejne etapy, szczególnie etap generowania informacji zwrotnej.

### Dynamiczny wybór alternatyw

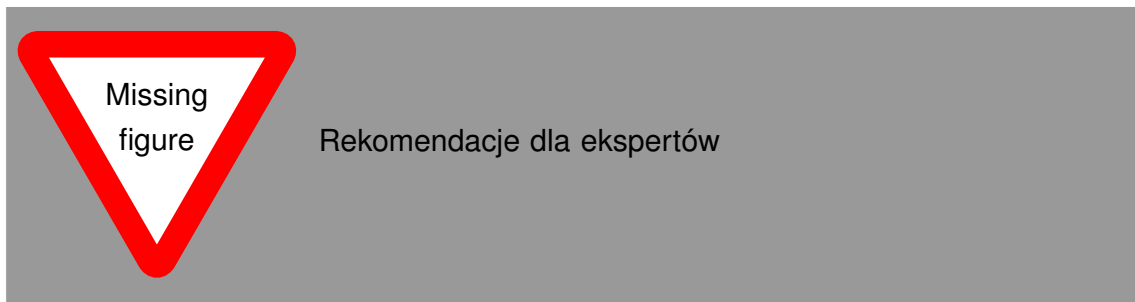
Eksperti w każdym momencie działania aplikacji mogą zgłaszać nowe alternatywy, mogą również zgłosić, że jedna z opcji brana do tej pory pod uwagę jest już nieaktualna, na przykład jeden z lokali ma już komplet rezerwacji. W tej sytuacji niezbędna jest aktualizacja wszystkich danych o problemie, które mogły się zmienić w trakcie działania procesu.

W tym przypadku okazało się, że alternatywa  $x_3$  nie osiągnęła minimalnego stopnia dominacji, t.j.  $QGDD_3 < MinQGDD = 0.2$ . W międzyczasie zgłoszona została nowa propozycja  $x_6$ . System zgłasza usunięcie  $x_3$  z podzbioru dyskusji oraz dołączenie w to miejsce  $x_6$ . Jest jeszcze jedna oczekująca alternatywa  $x_5$ , jednak aplikacja w pierwszej kolejności promuje najnowsze propozycje ekspertów. W przypadku większej ilości propozycji istnieje możliwość wstępnego głosowania na nowe opcje. Inną możliwością jest zwiększenie rozmiaru podzbioru dyskusji.

### Informacja zwrotna

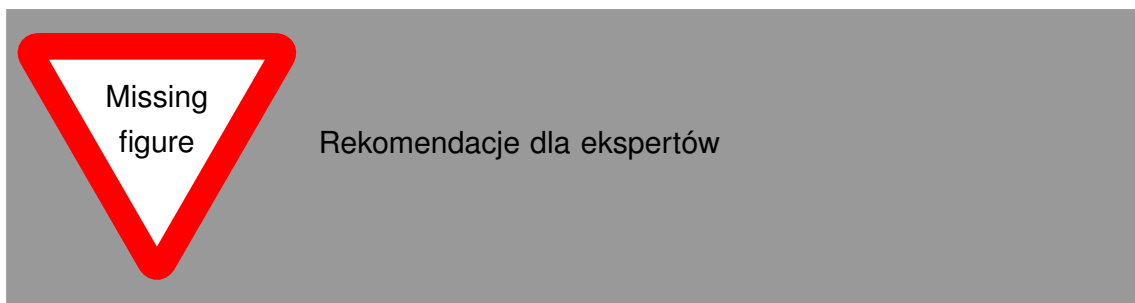
Moduł informacji zwrotnej jest odpowiedzialny za doprowadzanie grupy do jak największego konsensusu. Zatem generowane są rekomendacje oraz odpowiedzi dla każdego członka, który nie zgadza się z większością. Oczywiście są to tylko wskazówki, których nie trzeba stosować.

Aplikacja najpierw szereguje ekspertów według osiągniętych przez nich miar bliskości:  $e_4, e_3, e_2, e_1$ . W tym momencie widać, że dwóch członków grupy,  $e_2$  i  $e_1$ , uzyskało poziom bliskości poniżej minimalnego  $minProxDegree$ , zatem oni zostaną poproszeni o zmianę swoich preferencji. Oczywiście rekomendacje na temat propozycji  $x_3$  są pomijane ze względu na jej usunięcie. Natomiast wszyscy eksperci są proszeni o podanie swoich preferencji dla nowej alternatywy  $x_6$ . Rekomendacje otrzymane przez ekspertów można zobaczyć na rysunku.



### 7.2.2. Drugi etap w procesie decyzyjnym

Jest to faza, w której wszyscy eksperci ponownie wysłali swoje preferencje dla wszystkich alternatyw w oparciu o rekomendacje. Wszystkie preferencje zostały zebrane na rysunku.



Cały proces z rundy pierwszej jest powtarzany, tzn. preferencje są transformowane do rozmytych relacji preferencji, a moduł selekcji przedstawia nowe rozwiązanie problemu. Nowy ranking lokali to  $x_2, x_1, x_6, x_4$ .

Następnie moduł konsensusu sprawdza osiągnięty poziom porozumienia. Dla podanych danych przykładowych otrzymano  $C_X = 0.88$ . Oznacza to, że został osiągnięty minimalny poziom wymagany przez problem ( $C_X > 0.8$ ), a grupa zostaje zapoznana z proponowanym rozwiązaniem. Aplikacja informuje, że większość członków grupy zgadza się ze sobą, ale nic nie stoi na przeszkodzie w kontynuowaniu dyskusji - decyzja zawsze należy do grupy.

# Rozdział 8

## Podsumowanie i plany rozwoju systemu

W niniejszej pracy zostało przedstawione szeroko pojęte wspieranie podejmowania decyzji grupowej w warunkach dynamicznych. Obecnie często brakuje czasu na spotkanie w cztery oczy i prowadzenie długich dyskusji. Co więcej, natłok informacji oraz jej częsta dezaktualizacja dodatkowo utrudnia cały proces. Stąd wsparcie ze strony technologii może okazać się bardzo przydatne.

Na początku wprowadzony został ogólny wstęp do teorii decyzji oraz do teorii grupowego podejmowania decyzji. Zostały naświetlone trudności z jakimi boryka się grupa decyzyjna, takie jak dysonans poznawczy, iluzje decyzyjne, czy największy problem - syndrom grupowego myślenia. Są to wyzwania dla systemu wspierającego grupowe podejmowanie decyzji, o których większość modeli teoretycznych zapomina. Wszystkie te trudności wynikają z prowadzenia dyskusji, czyli głównego elementu procesu.

W ramach pracy zaprezentowany został model teoretyczny procesu decyzyjnego wykorzystujący narzędzia logiki rozmytej. Jedną z jego głównych zalet jest zrezygnowanie z podejścia iteracyjnego na rzecz większej dynamiki oraz naturalności procesu. Ekspertci mają też dużą swobodę w sposobie wyrażania swoich preferencji względem dostępnych alternatyw.

Jako dowód koncepcji (ang. proof of concept) zaimplementowany został prototyp systemu TDM realizujący główne założenia przedstawione w pracy. Jest to aplikacja internetowa oparta o najnowsze technologie, co zapewnia dostępność systemu dla dużej ilości urządzeń, w tym mobilnych. Zaprojektowana architektura pozwala na dużą rozszerzalność systemu, na przykład łatwe stworzenie natywnych aplikacji klienckich na telefony komórkowe. Centralnym miejscem jest ekran tak zwanej „burzy mózgów”, a zadaniem oprogramowania jest wspieranie grupy, nakierowywanie na osiągnięcie konsensusu oraz rekomendowanie rozwiązań. Natomiast celem nie jest zastąpienie grupy i podejmowanie decyzji za ekspertów. Zakres projektu nie obejmuje pełnego

modelu, a jedynie główne koncepcje. Dla przykładu, ocenianie alternatyw możliwe jest tylko za pomocą jednej spośród wszystkich opisanych metod.

Plany dalszego rozwoju aplikacji TDM obejmują:

- implementację autorskiej metody zarządzania dynamiką zbioru alternatyw,
- bardziej intuicyjny sposób prezentacji statystyk głosowania oraz proponowanego rozwiązania problemu,
- implementację wszystkich opisanych w pracy metod wprowadzania preferencji, w tym także oceny lingwistycznej,
- integrację z szeroką gamą serwisów społecznościowych.

Wszystkie powyższe elementy mają na celu ułatwienie i usprawnienie pracy użytkownika, a przez to skuteczniejsze podejmowanie decyzji i rozwiązywanie problemów przez grupę ekspertów.

# Bibliografia

- [1] S. Alonso, F. J. Cabrerizo, E. Herrera-Viedma. A consensus model for group decision making problems with unbalanced fuzzy linguistic information. *Journal of Information Technology*, 8(1):109–131, 2009.
- [2] S. Alonso, E. Herrera-Viedma, F. Chiclana, F. Herrera. A web based consensus support system for group decision making problems and incomplete preferences. *Information Sciences*, 180(23):4477–4495, 2010.
- [3] D. Baker, D. Bridges, R. Hunter, G. Johnson. *Guidebook to decision-making methods*. Number December 2001. WSRC-IM-2002-00002, Department of Energy, USA, 2002.
- [4] Gianluca Campanella, Rita A. Ribeiro. Multiple attribute decision making in a dynamic environment. *World Conference on Soft Computing 2011*, 2011.
- [5] F. Chiclana, F. Herrera. Preference Relations as the Information Representation Base in Multi-Person Decision Making. in *Multi-Person Decision Making, Proc. of 6th Int. Conf. on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems*, str. 459 – 464, 1996.
- [6] F. Chiclana, F. Herrera, E. Herrera-Viedma. Integrating three representation models in fuzzy multipurpose decision making based on fuzzy preference relations. *Fuzzy sets and Systems*, 97:33–48, 1998.
- [7] F. Chiclana, F. Herrera, E. Herrera-Viedma. Integrating multiplicative preference relations in a multipurpose decision-making model based on fuzzy preference relations. *Fuzzy Sets and Systems*, 122(2):277–291, Wrzesień 2001.
- [8] P. Ekel, J. Queiroz, R. Parreiras, R. Palhares. Fuzzy set based models and methods of multicriteria group decision making. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*, 71(12):e409–e419, Grudzień 2009.
- [9] János Fülöp. *Introduction to decision making methods*. Laboratory of Operations Research and Decision Systems, Computer and Automation Institute, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 2005.

- [10] E. Harrison. *The Managerial Decision-Making Process*. Houghton Mifflin, 1999.
- [11] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, J. L. Verdegay. A sequential selection process in group decision making with a linguistic assessment approach. *Information Sciences*, 239(1995):223–239, 1995.
- [12] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, J. L. Verdegay. A model of consensus in group decision making under linguistic assessments. *Fuzzy sets and Systems*, 78(1):73–87, 1996.
- [13] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, J. L. Verdegay. Direct approach processes in group decision making using linguistic OWA operators. *Fuzzy Sets and systems*, 79(2):175–190, 1996.
- [14] E. Herrera-Viedma, F. Herrera, F. Chiclana. A consensus model for multiperson decision making with different preference structures. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, 32(3):394–402, 2002.
- [15] Irving Janis. *Victims of Groupthink: A Psychological Study of Foreign-Policy Decisions and Fiascos*. Houghton Mifflin, Boston, 1972.
- [16] D. Li. Fuzzy linear programming technique for multiattribute group decision making in fuzzy environments. *Information Sciences*, 158:263–275, Styczeń 2004.
- [17] Jie Lu, Guangquan Zhang, Da Ruan. *Multi-objective group decision making: methods, software and applications with fuzzy set techniques*, wolumen 6 serii *Electrical And Computer Engineering*. Imperial College Press, 2007.
- [18] Jian Ma, Zhi-Ping Fan, Yan-Ping Jiang, Ji-Ye Mao. An optimization approach to multiperson decision making based on different formats of preference information. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part A Systems and Humans*, 36(5):876–889, 2006.
- [19] Anna Pankowska, Maciej Wygralak. General IF-sets with triangular norms and their applications to group decision making. *Information Sciences*, 176(18):2713–2754, Wrzesień 2006.
- [20] Vania Peneva, Ivan Popchev. Aggregation of fuzzy preference relations to multicriteria decision making. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 6(4):351–365, 2007.
- [21] Vania Peneva, Ivan Popchev. Multicriteria Decision Making Based on Fuzzy Relations. *Cybernetics and Information Technologies*, 8(4):3–12, 2008.



- [22] I. J. Pérez, F. J. Cabrerizo, E. Herrera-Viedma. A Mobile Decision Support System for Dynamic Group Decision-Making Problems. *Systems Man and Cybernetics Part A Systems and Humans IEEE Transactions on*, 40(6):1244–1256, 2010.
- [23] I. J. Pérez, F. J. Cabrerizo, E. Herrera-Viedma. Group decision making problems in a linguistic and dynamic context. *Expert Systems with Applications*, 38(3):1675–1688, 2011.
- [24] Andrew Van De Ven, Andre L. Delbecq. Nominal versus Interacting Group Processes for Committee Decision-Making Effectiveness. *Academy of Management Journal*, 14(2):203–212, 1971.
- [25] Juite Wang, Yung-i Lin. A fuzzy multicriteria group decision making approach to select configuration items for software development. *Fuzzy Sets and Systems*, 134:343–363, 2003.
- [26] D. M. Wegner. Transactive memory: A contemporary analysis of the group mind. B Mullen, G R Goethals, redaktorzy, *Theories of group behavior*, wolumen 185, str. 185–208. Springer-Verlag, 1986.
- [27] Glen Whyte. Groupthink Reconsidered. *Academy of Management Review*, 14(1):40–56, 1989.
- [28] Zeshui Xu. Multiple-attribute group decision making with different formats of preference information on attributes. *IEEE transactions on systems man and cybernetics Part B Cybernetics a publication of the IEEE Systems Man and Cybernetics Society*, 37(6):1500–1511, 2007.
- [29] Zeshui Xu. Group decision making based on multiple types of linguistic preference relations. *Information Sciences*, 178(2):452–467, Styczeń 2008.
- [30] Azene Zenebe, Lina Zhou, Anthony F. Norcio. User preferences discovery using fuzzy models. *Fuzzy Sets and Systems*, 161(23):3044–3063, Grudzień 2010.
- [31] H. J. Zimmermann. *Fuzzy set theory and its applications*, wolumen 4. Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [32] H. J. Zimmermann. Fuzzy set theory. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(3):317–332, 2010.

# Spis rysunków

1.2.1. Proces decyzyjny . . . . .	11
3.1.1. Procesy w grupowym podejmowaniu decyzji . . . . .	26
3.2.1. Dynamika alternatyw: Usunięcie . . . . .	28
3.2.2. Dynamika alternatyw: Dodanie . . . . .	29
4.1.1. Funkcja charakterystyczna dla zbioru $x \in \mathcal{R} : -2 \leq x \leq 2$ . . . . .	32
4.1.2. Przykładowa funkcja przynależności . . . . .	33
4.1.3. Funkcje przynależności dla zmiennej lingwistycznej „temperatura” . . . . .	35
4.1.4. Kwantyfikator lingwistyczny „Większość” . . . . .	40
4.1.5. Kwantyfikator lingwistyczny „Co najmniej połowa” . . . . .	41
5.1.1. Schemat odkrywania i przetwarzania preferencji . . . . .	44
5.3.1. Przykład rozmytej relacji preferencji . . . . .	46
5.3.2. Rozkład dziewięciu termów lingwistycznych . . . . .	48
5.3.3. Podobne zmienne lingwistyczne . . . . .	49
5.3.4. Niesymetryczny rozkład termów . . . . .	50
5.3.5. Przykładowa hierarchia lingwistyczna . . . . .	50
5.3.6. Reprezentacja niesymetrycznej zmiennej lingwistycznej . . . . .	52
7.1.1. Autentykacji do aplikacji TDM . . . . .	66
7.1.2. Lista aktualnych problemów decyzyjnych . . . . .	67
7.1.3. Okno dodawania nowego problemu decyzyjnego . . . . .	67
7.1.4. Burza mózgów . . . . .	68
7.1.5. Zapraszanie ekspertów . . . . .	69

# Spis tablic

2.1.1. Charakterystyka grup decyzyjnych . . . . .	16
2.2.1. Strategie grupowego podejmowania decyzji . . . . .	17
7.2.1. Początkowe propozycje rozwiązania problemu . . . . .	73
7.2.2. Początkowe parametry problemu . . . . .	73

# Todo list

■ bibliografia . . . . .	15
■ bibl . . . . .	44
■ bibl . . . . .	44
■ biblio . . . . .	45
■ biblio . . . . .	46
■ biblio: Herrera Web DSS . . . . .	54
Figure: Schemat modelu . . . . .	55
■ FIXME: niepoprawny wzor . . . . .	57
■ jaka rzeczywista . . . . .	60
Figure: Diagram architektury systemu . . . . .	65
Figure: Klient: nowa alternatywa . . . . .	68
Figure: Klient: głosowanie . . . . .	69
Figure: screenshot z aplikacji: dodanie idei oraz ekspertow . . . . .	73
Figure: Rekomendacje dla ekspertów . . . . .	76
Figure: Rekomendacje dla ekspertów . . . . .	76