

# SYSTEM EKSPERTOWY A DOBÓR KADR W PRZEDSIĘBIORSTWIE

## Część B: Realizacja Systemu Ekspertowego

*The Expert System vs the Staff Selection. Part B: The creation of an expert system*

Karolina Plawgo<sup>2</sup>, Marian Czerwiński<sup>1</sup>

**Treść.** Praca jest kontynuacją publikacji [15]. Zaproponowano nowy system ekspertowy. Zastosowano reguły i odpowiadające im współczynniki stanowią oryginalne podejście do problemu doboru kadr. Wykorzystano pewne rozwiązania systemu ekspertowego szkieletowego, opisanego w [13]. System wyróżnia się stosunkowo niskim kosztem realizacji oraz dużą efektywnością w stosunku do innych technik selekcji kadry. Zaproponowane podejście minimalizuje wpływ czynników subiektywnych na ostateczną ocenę kandydata. System może być stosowany do doboru kadry na różne stanowiska w większości organizacji.

**Słowa kluczowe:** System ekspertowy, dobór kadr, system wnioskujący, bazy wiedzy, wnioskowanie progresywne, wnioskowanie regresywne.

**Abstrakt.** The work is a continuation of the publication [15]. In this paper new expert system is proposed. The rules were applied as well as the corresponding coefficients. This is an original approach to the problem of personnel selection. Although some solutions from skeleton expert system described in [13] were used. The system is distinguished by a relatively low cost of implementation and high efficiency compared to other personnel selection techniques. The proposed approach minimizes the influence of subjective factors on the final evaluation of the candidate. The system can be used for selection of personnel for the various positions in most organizations.

**Keywords:** expert system, personnel selection problem, requesting system, knowledge database, progressive inference, regressive inference

### 1. Wprowadzenie

W Części A omówiono podział kadry ze względu na kwalifikacje oraz inne cechy. Na tej podstawie w części B publikacji zaproponowano metodę doboru kadry, wykorzystującą system ekspertowy szkieletowy, opisany przez Antoniego Niederlińskiego [13], którą wyróżnia stosunkowo niski koszt realizacji oraz wysoka użyteczność w stosunku do innych technik selekcji kadry dla potrzeb przedsiębiorstwa. W zaprojektowanym systemie ekspertowym zastosowano reguły i odpowienie współczynniki pewności. Podejście to minimalizuje wpływ czynników subiektywnych, gdyż ostateczna ocena kandydata nie zależy w pełni od osoby odpowiedzialnej za końcowy etap rekrutacji.

Trzeba również zaznaczyć, iż prawdopodobieństwo zatrudnienia właściwego pracownika nie stosując żadnej z technik selekcji jest niskie, nie przekracza dwudziestu procent, natomiast z wykorzystaniem poprawnie skonstruowanego systemu ekspertowego jest czterokrotnie wyższe.

Wykorzystanie zaproponowanego systemu ekspertowego może przyczynić się do zatrudniania osób, które z wię-

szym prawdopodobieństwem będą mogły sprostać czekającym na nie zadaniom, prowadząc w rezultacie do wzrostu satysfakcji z wykonywanej pracy.

System ekspertowy jest stosowany do tych zagadnień, które są słabo sformalizowane, tzn. w których trudno jest przypisać teorie oparte na matematyce, lub inaczej, do których trudno jest zastosować ściśle algorytmy działania. Przykładami tutaj mogą być: zarządzanie, medycyna, geologia, rolnictwo, prawo, astronautyka, robotyka, chemia, architektura.

### 2. Metody konstrukcji systemów ekspertowych

Systemy ekspertowe są programami komputerowymi przeznaczonymi do rozwiązywania specjalistycznych problemów wymagających profesjonalnej ekspertyzy. Są one w zasadzie skonstruowane w ten sposób, że wiedza dotycząca danej dziedziny jest odseparowana od reszty systemu. W programach nie będących systemami eks-

1. Wrocławska Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej „Horyzont”, Wydział Informatyki, ul. Wejherowska 28, 54-239 Wrocław, mczerwinski@horyzont.eu

2. Wrocławska Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej „Horyzont”, Wydział Informatyki, ul. Wejherowska 28, 54-239 Wrocław, karolina.plawgo@horyzont.eu

perutowymi (np. proceduralnych), wiedza dziedzinowa i wiedza o sposobie rozwiązania problemu są splecione i powiązane, najczęściej w bardzo nieczytelny sposób. Taka budowa programów komplikuje sytuację, iż ekspert dziedzinowy czytający kod takiego programu najczęściej nie potrafi stwierdzić, co ów program zakłada o rozwiązywanym problemie. Oznacza to również, że ów ekspert dziedzinowy musi korzystać z pomocy specjalisty-informatyka dla odczytania wiedzy dziedzinowej zawartej w programie jak również dla wprowadzania tejże wiedzy do programu. Sytuacja taka stwarza poważne trudności przy tworzeniu dużych, specjalizowanych programów, wymagających stosowania wiedzy dziedzinowej szeregu ekspertów, nie do uniknięcia staje się bowiem przynajmniej częściowe przekształcenie się specjalisty-informatyka w niezbyt doskonałego eksperta dziedzinowego lub eksperta dziedzinowego w niezbyt doskonałego informatyka.

Podstawową zaletą systemu ekspertowego jest oddzielenie bazy wiedzy (a więc części programu opisującej wiedzę dziedzinową związaną z rozwiązywanym problemem) i systemu wnioskującego (a więc części programu rozwiązującej problem).

Z takiej własności systemów ekspertowych wynika szereg ważnych korzyści – możliwość posługiwania się wiedzą dziedzinową w postaci jawnej (tzn. w postaci pliku tekstowego), co w znaczący sposób ułatwia odczytanie i zrozumienie wiedzy dziedzinowej, zastosowanej w programie. Zaleta ta jest bardzo istotna, gdyż dzięki temu czytelność wiedzy dziedzinowej, z której korzystają złożone programy, stworzone do podejmowania odpowiedzialnych decyzji, ma duże znaczenie zarówno dla użytkowników tych programów (którzy mogą zobaczyć z jakich zasobów wiedzy korzysta program) jak i dla ekspertów dziedzinowych, będących źródłem tej wiedzy (którzy mogą w prosty sposób wiedzę stosowaną przez program zweryfikować).

Kolejną własnością omawianych systemów jest możliwość ciągłego rozwijania baz wiedzy - na każdym etapie tworzenia dodaje się nowe elementy bazy wiedzy do tych, które już istnieją.

Niebiałą zaletą jest również możliwość tworzenia systemów ekspertowych skorupowych, tzn. uniwersalnych systemów ekspertowych pozbawionych wiedzy dziedzinowej. Są to tzw. rules based systems. Mamy tu już do czynienia z czymś, co można określić mianem sztuki komputerowej, dzięki której system zostaje w maksymalnym stopniu dopasowany do indywidualnych cech decydenta. Systemy takie mogą być w stosunkowo łatwy sposób wykorzystane przez różnych użytkowników poprzez wymianę bazy wiedzy. W ten sposób staje się możliwe tworzenie specjalistycznych programów przez ekspertów dziedzinowych nie będących specjalistami-informatykami. Systemy ekspertowe skorupowe są więc środowiskiem programowym umożliwiającym ekspertom dziedzinowym tworzenie – na drodze nieprogramowej – pełnowartościowych programów rozwiązujących ich problemy, bez konieczności zagłębiania się w informatyczne subtelności [13].

Wymóg opisu jakiegokolwiek działalności za pomocą zrozumiałych, jasnych i przejrzystych reguł, jest czymś dys-

cyplinującym ową działalność i stanowiącym warunek doskonalenia tej działalności. Patrząc w ten sposób na systemy ekspertowe wydaje się oczywiste, iż są to narzędzia umożliwiające czy wręcz wymuszające (dzięki zawartym w nich regułom) doskonalenie czynności, którym są dedykowane. System do doboru kadry w tym ujęciu formalizuje proces oceny kandydata czyniąc go bardziej przejrzystym.

Jak już wcześniej zostało powiedziane, systemy ekspertowe są programami komputerowymi przeznaczonymi do rozwiązywania specjalistycznych problemów (najczęściej o charakterze niealgorytmicznym) z pewnej dziedziny wymagających profesjonalnej ekspertyzy, wykonujące złożone zadania o dużych wymaganiach intelektualnych i robiące to tak dobrze jak człowiek, będący ekspertem w tej dziedzinie. Określenie system ekspertowy może być zastosowane do dowolnego programu komputerowego, który na podstawie szczegółowej wiedzy może wyciągać wnioski i podejmować decyzje w oparciu o posiadaną wiedzę, działając w sposób zbliżony do procesu rozumowania człowieka, który swą umiejętność wnioskowania nabywa w wyniku studiów i praktyki. Celem takich programów jest zastąpienie pracy wielu ekspertów w danej dziedzinie poprzez przechowywanie ekspertyz wypracowanych przez nich a następnie stosowanych do rozwiązywania problemu w sposób kompletny. Rozwiązując problem podają one odpowiedź a nie dane, dostarczając wyjaśnień jak uzyskano rozwiązanie.

Wysoka użyteczność systemów ekspertowych wynika z ich właściwości, czyli poprawności systemu, uniwersalności, złożoności, autoanalizy oraz zdolności do udoskonalania bazy wiedzy.

## 2.1 Podstawowe wiadomości o systemach ekspertowych

System ekspertowy powinien zapewnić wysoki poziom wydawanych ekspertyz. W tym sensie możemy mówić o poprawności systemu, jeśli daje on dobre rezultaty, rozwiązuje zadania w czasie dopuszczalnym i dysponuje strategiami umożliwiającymi limitowanie wiedzy i intuicji eksperta, uzyskanej w wyniku wieloletniego doświadczenia. Jakość pracy możemy ocenić porównując wyniki działania systemu z rezultatami pracy człowieka.

Uniwersalność w przypadku systemów ekspertowych rozumiana jest jako zdolność do rozwiązywania obszernej klasy zadań z danej dziedziny. System nie powinien zawierać wielu sztucznych, wcześniej przygotowanych rozwiązań, lecz dużą liczbę reguł obejmujących dostatecznie szeroki zakres heurystyk z dziedziny problemowej. Uniwersalność rozumiana jako możliwość rozwiązania zadań z różnych dziedzin wiedzy na podstawie strukturalnego podobieństwa reguł wnioskowania jest jeszcze nieosiągalna. Tworzenie systemów zdolnych do takiego działania – można je nazwać metasystemami – jest nieuniknionym kierunkiem rozwoju badań nad sztuczną inteligencją. Stopień komplikacji systemu ekspertowego jest w natural-

ny sposób określony przez dziedzinę, dla której jest wykonywany. Ocena złożoności systemu jest możliwa na przykład przez liczbę reguł wnioskowania (dla systemu opartego o regułową bazę wiedzy), wielkość bazy danych itp. Systemy ekspertowe są klasyfikowane ze względu na liczbę reguł na trzy grupy - małe (100 – 300 reguł), średnie (300 – 2000 reguł), duże (ponad 2000 reguł).

System ekspertowy powinien uzasadnić użytkownikowi przyjęte rozwiązanie nie tylko globalnie, ale i na każdym etapie, to znaczy również każde rozwiązanie częściowe. Dokonuje się tego w ten sposób, że przegląda się drzewo rozwiązania w kierunku wstecznym, tak jakby to było jeszcze jedno zadanie wymagające ekspertyzy. W analizowaniu przez system ekspertowy własnego zachowania istotną rolę odgrywa tzw. moduł niesprzeczności. Do prowadzenia autoanalizy niezbędna jest możliwość rekonstrukcji pewnego ciągu wnioskowania. Objaśnienia są ważnym elementem pracy systemu, a ich waga rośnie wraz ze wzrostem kosztów przyjęcia błędnego rozwiązania. Do mechanizmów udoskonalających jego działanie zalicza się: kontrolera niesprzeczności nowo wprowadzanych do bazy wiedzy reguł z regułami w niej zawartymi, kontrolera zgodności reguł z nowo wprowadzаныmi faktami, mechanizm oceny częstości stosowania poszczególnych reguł, mechanizm rozbudowy istniejącej bazy reguł poza zakres danej bazy wiedzy. Dwa pierwsze elementy mieszczą się w module niesprzeczności, pozostałe należy wbudować jako dodatkową strukturę uczącą [11].

System ekspertowy, jeśli ma być efektywny, powinien umożliwiać ciągle rozszerzanie wiedzy o nowe fakty i prawa (reguły wnioskowania).

Program do rozwiązywania problemów zleczanych ekspertom, charakteryzuje się strukturą funkcjonalną, której podstawowymi elementami są [13]:

- baza wiedzy, zawierająca wiedzę potrzebną do rozwiązywanych problemów, zwaną także wiedzą dziedzinową,
- system wnioskujący, wyznaczający fakty wynikające z bazy wiedzy i z pewnego zbioru faktów początkowych, charakteryzujących problem będący przedmiotem wnioskowania.

Oprócz wymienionych elementów podstawowych system ekspertowy ma jeszcze elementy pomocnicze, do których należy:

- dynamiczna baza danych, służąca do przechowywania odpowiedzi użytkownika i wyników wnioskowania,
- edytor bazy wiedzy, służący do czytania, formułowania i modyfikowania bazy wiedzy,
- łącze użytkownika, umożliwiające korzystającemu z programu komunikowanie się z systemem wnioskującym i edytorem bazy wiedzy.

Jak już wcześniej zostało zaznaczone, istotną cechą systemu ekspertowego jest to, że baza wiedzy jest plikiem tekstowym, napisanym w sposób zrozumiały i przejrzysty. Baza ta może być tworzona, czytana i modyfikowana za pomocą edytora bazy wiedzy bez naruszania integralności systemu wnioskującego. Struktura systemu ekspertowego opiera się na założeniu, iż jego siła zależy od bazy

wiedzy (jej jakości), a dopiero w następnej kolejności od dysponowanego oprogramowania.

## 2.2 Metody bazujące na symbolicznej reprezentacji wiedzy

Problem reprezentacji wiedzy, jest jednym z najważniejszych w dziedzinie sztucznej inteligencji, który nie został jeszcze całkowicie rozwiązany.

Wiedza w danej dziedzinie oznacza zbiór wiadomości z tejże dziedziny, wszystkie zobjektywizowane i utrwalone formy kultury umysłowej i świadomości społecznej będące wynikiem kumulowania doświadczeń i uczenia się. Wiedza inaczej jest symbolicznym opisem otaczającego nas świata rzeczywistego.

Gromadzenie wiedzy jest niejednokrotnie najtrudniejszym zadaniem podczas tworzenia systemu ekspertowego, najczęściej wykonywanym przez inżyniera wiedzy, który uzyskuje niezbędne informacje od eksperta oraz z innych dostępnych źródeł i umieszcza je odpowiednio przetworzone w bazie wiedzy.

Można wyróżnić dwa typy symbolicznej reprezentacji wiedzy – reprezentacja proceduralna, polegająca na określeniu zbioru procedur, działanie których reprezentuje wiedzę o dziedzinie oraz reprezentacja deklaratywna, polegająca na określeniu zbioru specyficznych dla rozpatrywanej dziedziny faktów, stwierdzeń, reguł.

Sposób reprezentacji wiedzy w bazie wiedzy jest ściśle zależny od charakteru systemu ekspertowego i zadań jakie są przed nim stawiane. Najczęściej spotykanymi technikami organizowania baz wiedzy są [12]:

- metody bazujące na bezpośrednim zastosowaniu logiki (rachunek zdań, rachunek predykatów),
- metody wykorzystujące zapis stwierdzeń,
- metody wykorzystujące systemy regułowe (wektory wiedzy),
- metody z wykorzystaniem sieci semantycznych,
- metody oparte na ramach,
- metody używające modeli obliczeniowych.

**Rachunek zdań** to jedna z podstawowych koncepcji mechanizmów wnioskowania wywodząca się z logiki dwuwartościowej. Opis cech otaczającego nas świata formuluje się w postaci zdań. Zdanie jest zdaniem prawdziwym jeśli jego wartość logiczna wynosi 1, natomiast jest fałszywe jeśli ma wartość logiczną 0. Zdania oznaczają się symbolami, np. A, B... i mogą być one łączone za pomocą spójników logicznych tworząc wyrażenia logiczne tzw. formuły. Formuły dające zdanie prawdziwe niezależnie od wartości logicznych zmiennych zdaniowych nazywamy prawami rachunku zdań (tautologiami).

Bazy wiedzy oparte na **logice**, mimo swej modularności, deklaratywności i nieproceduralności, są trudne do przetwarzania, szybko następuje w nich eksplozja kombinatoryczna, czyli lawinowy i niekontrolowany rozrost bazy wiedzy o fakty będące powieleniem istniejących już informacji lub powstaniem niepożądanych struktur.

Ważnym narzędziem w metodach reprezentacji wiedzy

jest *rachunek predykatów*, który stanowi podstawę programowania w logice. Rachunek predykatów jest rozszerzeniem rachunku zdań przez wprowadzenie kwantyfikatorów: „dla każdego” oraz „istnieje takie że”. Wyrażenie  $W(x)$ , w którym występuje zmienna  $x$  i które staje się zdaniem prawdziwym lub fałszywym, gdy w miejsce  $x$  podstawimy wartość zmiennej  $x$ , nazywa się funkcją zdaniową albo predykatem. Predykat składa się z nazwy i dowolnej liczby argumentów, które są nazywane termami. Termami mogą być stałe (symbole) alfanumeryczne, jak też numeryczne i zmienne oraz wyrażenia [12].

Zaletą predykatów są proste i zrozumiałe interpretacje wyrażania zdań. Trzeba wziąć pod uwagę fakt, iż nie wszystkie pojęcia o otaczającej nas rzeczywistości dają się reprezentować w logice, jednakże obecnie trudno byłoby wskazać metodę opisu, która sprostałaby wszystkim wymaganiom. Rachunek predykatów dobrze opisuje podstawy matematyki, która to z kolei wystarcza do opisu formalizmów większości współczesnych dyscyplin naukowych. Istotną zaletą teorii logicznych jest ich formalność, czyli możliwość ścisłego i jednoznacznego opisu ich konstrukcji i mechanizmów, co przy reprezentowaniu wielu problemów odgrywa znaczącą rolę.

Z kolei *stwierdzenia* są jednym z głównych elementów bazy wiedzy, dotyczą one takich zagadnień jak zdarzenia, zjawiska, objawy, czynności i są zapisywane w postaci uporządkowanej trójki – (<OBIEKT>,<ATRYBUT>,<WARTOŚĆ>). W celu uproszczenia zapisów stwierdzeń stosuje się słowniki nazw obiektów i atrybutów oraz ich wartości, dzięki temu uzyskuje się oszczędniejszy zapis, który zajmuje mniej miejsca w pamięci komputera.

W wypadku tzw. stwierdzeń przybliżonych do uporządkowanej trójki dodaje się czwarty człon, który jest współczynnikiem pewności (<CF> - Certainty Factor). CF jest najczęściej liczbą z przedziału  $[-1,1]$  lub  $[-1,0]$  bądź  $[0,1]$ , która określa stopień pewności stwierdzenia np. dla drugiego z wymienionych przedziałów  $CF=1$  oznacza, że stwierdzenie jest w pełni prawdziwe,  $CF=0$  to stwierdzenie fałszywe. Nie sformalizowano metod określenia stopni pewności, dlatego wyznacza się je subiektywnie. Należy zaznaczyć, że w reprezentacji wiedzy za pomocą stwierdzeń występują trudności negocjowania stwierdzeń w przypadku atrybutów wielowartościowych.

Istotną pozycję wśród metod reprezentacji wiedzy zajmują *metody oparte na regułach*, gdyż zbiór stwierdzeń nie jest wystarczający do opisania jakiejś dziedziny wiedzy. Ogólna postać reguły może być wyrażona jako - JEŚLI przesłanka TO konkluzja (działanie). Przesłanka może zawierać większą liczbę stwierdzeń połączonych funkcjami logicznymi. Ważną zaletą tej metody jest to, iż nie powoduje ona niekontrolowanego rozrostu bazy wiedzy o nadmiarowe tautologie. Baza wiedzy w tym przypadku zawiera zbiór reguł. *Podejście to umożliwia uzyskanie dużej modularności bazy wiedzy i dlatego jest stosowane w większości systemów ekspertowych.*

Praktycznie działające systemy oparte na regułach mogą zawierać reguły charakteryzowane stopniami pewności. Zbiór reguł to pewnego rodzaju sieć stwierdzeń, ponie-

waż z prawdziwości jednego stwierdzenia mogą wynikać inne.

Należy nadmienić, iż reguły o jednym wniosku noszą nazwę klauzul Horna. Zaletą stosowania reguł w tej postaci jest uproszczenie automatyzacji wnioskowania, a więc budowy systemu wnioskującego, czyniąc go zarazem efektywnym. Prostota klauzul Horna czyni je zrozumiałymi i przejrzystymi dla użytkownika nie będącego informatykiem.

Pewnego rodzaju uogólnieniem reguł, w wyniku którego otrzymujemy zapis w postaci wektorowej, są *wektory wiedzy*. W podejściu tym najpierw zapisujemy daną bazę reguł w tradycyjny sposób, uwzględniając to by poszczególne reguły zawierały jednakową liczbę warunków i wniosków. W kolejnym kroku dokonujemy kodowania poszczególnych członów reguł z wykorzystaniem symboli (TAK, NIE, nie występuje). W rezultacie zamiast pisać pełną reprezentację poszczególnych reguł, otrzymujemy bardzo zwarty opis w postaci wektorów, zawierających trzy wymienione symbole.

Wektory wiedzy są wygodne do weryfikacji poprawności bazy wiedzy a mając postać wektorową łatwo jest przejść na opis zawierający pełną treść reguł.

Następnym modelem stosowanym przy reprezentowaniu wiedzy są *sieci semantyczne*. Baza wiedzy stanowi zbiór stwierdzeń i relacji między nimi, stąd posługując się tymi pojęciami można stworzyć tzw. sieć stwierdzeń – w formie grafu, gdzie węzłami są stwierdzenia, a gałęziami relacje. Istnieje możliwość przypisania węzłom (podobnie jak gałęziom) wag, które określają stopień przekonania o słuszności tych stwierdzeń.

Uogólnieniem sieci stwierdzeń są sieci semantyczne lub asocjacyjne, a polega to na przyjęciu założenia, że węzły odpowiadają kompletnym opisom pojęć lub obiektów i nie są wyłącznie stwierdzeniami. Model asocjacyjny to taki model, którego jedne terminy są wyjaśniane przez inne terminy, tworząc pewną strukturę powiązań. Struktura ta może być zamknięta, a grafy mogą być skierowane. Wnioskowanie odpowiada poruszaniu się po grafie, gdyż sieć semantyczna jest pewnego rodzaju logiką, gdzie relacje między obiektami są przedstawione w postaci rysunku.

Sieci semantyczne wiążą się zazwyczaj z *ramami* lub z regułami, gdyż problemem jest tutaj określenie, czy węzły sieci oznaczają jeden obiekt czy klasę obiektów. Ramy w tym ujęciu odpowiadają obiektom i opisują ich strukturę wewnętrzną, sieć semantyczna natomiast odpowiada relacjom między ramami.

Reprezentacja wiedzy za pomocą ram umożliwia deklaratywną i proceduralną reprezentację wiedzy oraz organizuje bazę wiedzy w taki sposób, że reguły będące reprezentacją wiedzy danej dziedziny są wyraźnie oddzielone od reguł niezbędnych do poprawnego działania systemu ekspertowego.

Możliwość grupowania informacji dotyczących wybranego fragmentu wiedzy w postaci jednej ramy upraszcza późniejszą weryfikację i modyfikację bazy wiedzy. Rama jest zatem strukturą danych opisującą dany obiekt, zawierającą wszystkie typowe i oczekiwane informacje przy-

puszczenia o tym obiekcie.

Pomysł reprezentacji wiedzy w postaci ram został oparty na podstawie analizy sposobu zachowania człowieka. Człowiek znajdujący się w nowej sytuacji i nowym otoczeniu, ale mający o tej dziedzinie wcześniejsze wyobrażenia, wydobywa z pamięci określoną strukturę, czyli ramę, i konfrontuje tę sytuację z wiedzą zawartą w ramie. Wykreowanie nowej ramy związane jest z zetknięciem się człowieka z całkowicie nowym obiektem, a więc próbą zapamiętania go i wprowadzenia jego nazwy.

## 2.3 Metody wnioskowania

Metody wnioskowania decydują o tym, w jaki sposób zachodzi proces myślenia.

Wyróżnia się trzy podstawowe typy wnioskowania: w przód (progresywne), wstecz (regresywne) i mieszane [12].

Metoda przeszukiwania poprzez stosowanie odpowiednich heurystyk jest często stosowaną techniką, gdyż dla większości problemów trudno jest z góry określić ciąg czynności prowadzących do rozwiązania.

Osobną grupę stanowią techniki wnioskowania wykorzystujące wiedzę niepewną, mamy na myśli przede wszystkim wnioskowanie rozmyte.

### 2.3.1 Wnioskowanie progresywne, regresywne i mieszane

Idea *wnioskowania w przód* jest następująca – na podstawie dostępnych reguł i faktów należy generować nowe fakty tak długo, aż wśród wygenerowanych faktów znajdzie się postawiony cel (hipoteza).

Cechą charakterystyczną tego typu wnioskowania jest możliwość powiększania się bazy faktów, co w pewnych sytuacjach może zostać uznane jako jego wada, gdyż pamięć operacyjna komputera może zostać całkowicie zapełniona. Jednocześnie z innego punktu widzenia, postępowanie takie umożliwia w przypadku baz wiedzy o niewielkiej liczbie faktów, zwiększenie jej liczby, a tym samym przyspieszenie procesu sprawdzania postawionej hipotezy [12].

Natomiast *wnioskowanie wstecz* przebiega w odwrotną stronę niż wnioskowanie w przód. Polega ono na wykazaniu prawdziwości hipotezy głównej na podstawie prawdziwości przesłanek. W sytuacji, gdy nie wiemy, czy jakaś przesłanka jest prawdziwa, to traktujemy tę przesłankę jako nową hipotezę i próbujemy ją wykazać. Jeśli postępując w ten sposób znajdziemy wreszcie regułę, której wszystkie przesłanki są prawdziwe, to konkluzja tej reguły jest prawdziwa. Na podstawie tej konkluzji dowodzi się następną regułę, której przesłanka nie była poprzednio znana. Postawiona hipoteza jest prawdziwa, jeśli wszystkie rozważane przesłanki dadzą się wykazać [12].

Zasadniczą cechą, która odróżnia wnioskowanie wstecz od wnioskowania w przód jest mniejsza liczba generowa-

nych nowych faktów oraz niemożność równoczesnego dowodzenia kilku hipotez. Przy wnioskowaniu wstecz czas oczekiwania na rozwiązanie jest w wielu przypadkach dużo krótszy niż przy wnioskowaniu w przód, dlatego też tego typu wnioskowanie w typowych zastosowaniach jest efektywniejsze i bardziej rozpowszechnione.

*Wnioskowanie mieszane* pozbawione jest niektórych wad wspomnianych metod, gdyż jest kompromisem między wnioskowaniem w przód i wstecz.

Strategia tego wnioskowania opiera się na wykorzystaniu ogólnych reguł, tzw. meta-reguł stanowiących metawiedzę, dzięki czemu program zarządzający dokonuje odpowiedniego przełączania między poszczególnymi rodzajami wnioskowania. W zależności od sytuacji system może automatycznie dobrać najbardziej odpowiedni sposób wnioskowania, gdyż w meta-regułach są zawarte wskazania dotyczące priorytetów wyboru rodzaju wnioskowania. System oparty na wnioskowaniu mieszanym działa tak, jakby można było w nim wyróżnić dwie maszyny wnioskujące (progresywną i regresywną), dlatego też poza wczytaniem przez system bazy wiedzy należy wczytać także zbiór zawierający metareguly. Wiedza zapisana w metaregulach może preferować jeden z rodzajów wnioskowania, co uzyskuje się na przykład poprzez podział bazy wiedzy na dwie części – reguły związane z wnioskowaniem wstecz oraz reguły związane z wnioskowaniem w przód.

Główną zaletą wnioskowania mieszanego jest skrócenie czasu potrzebnego na uzyskanie rozwiązania oraz nie występuje tutaj zagrożenie zajęcia całej pamięci operacyjnej komputera.

Trudność natomiast sprawia pozyskanie metawiedzy – źle dobrane metareguly mogą spowolnić pracę systemu lub nawet uczynić ją nieefektywną.

### 2.3.2 Strategie przeszukiwania, heurystyki

Wybór sposobu postępowania prowadzącego do uzyskania określonych wyników odgrywa istotną rolę podczas rozwiązywania problemu.

Metoda przeszukiwania jest często stosowaną techniką wnioskowania, gdyż dla większości problemów trudno jest z góry określić ciąg czynności prowadzących do rozwiązania, muszą one być określone przez systematyczne analizowanie kolejnych alternatyw.

Zaletą przeszukiwania jest łatwość formułowania zadań – wymagane jest określenie zbioru stanów przestrzeni rozwiązywanego problemu, zbioru operatorów przekształcających te stany, stanu początkowego i zbioru stanów końcowych. Określenie ciągu operatorów przekształcających stan początkowy w stan końcowy to rozwiązanie danego problemu.

W zagadnieniach przeszukiwania korzysta się z pewnych algorytmów, czyli strategii realizujących poszczególne metody przeszukiwań. Strategie przeszukiwania mówią, w jaki sposób maszyna wnioskująca ma sprawdzać prawdziwość kolejnych stanów.

W grupie tych strategii znajdują się metody nie wykorzystujące informacji o dziedzinie rozwiązywanego problemu, zwane metodami ślepyimi, a także metody ściśle dopasowane do danego problemu, wykorzystujące tzw. metody heurystyczne.

Koncepcja **strategii heurystycznych** wywodzi się ze spostrzeżenia, że dla większości problemów przestrzeń stanów zawiera pewne dodatkowe informacje. Koszt wyznaczenia tych informacji jest niewielki, a umożliwiają one wybieranie najlepszych kierunków przeszukiwań, podając proste kryterium ich wyboru [12].

Heurystyki pomagają zoptymalizować poszukiwania rozwiązań, pozwalają pominąć ścieżki, które nie roszą nadziei na odnalezienie rozwiązania, skracają czas dochodzenia do wyniku. Heurystyczne przeszukiwanie jest procesem poszukiwania żadanego stanu albo inaczej podgrafu spełniającego zadane warunki, posługując się różnymi środkami, takimi jak analogie, uproszczenia, intuicje, których celem jest ograniczenie zbioru przeszukiwanych stanów, a których użyteczność nie jest do końca znana. Poszukiwanie pożądanego stanu odbywa się często w sposób subiektywny, oparty na regułach wypracowanych przez ekspertów. Dlatego też metody heurystyczne są wykorzystywane wtedy, gdy nie ma algorytmu lub tradycyjne algorytmy wyznaczają niezadowalające rozwiązanie albo nie dają gwarancji rozwiązania zadania. Heurystyka nie daje pewności znalezienia rozwiązania, jednakże właściwie dobrana powinna wyznaczać najlepsze wyniki osiąmane w żadanym czasie. Jest to praktyczna strategia poprawiająca efektywność rozwiązywania złożonych problemów, prowadząc do celu wzdłuż najkrótszej, najbardziej prawdopodobnej drogi [12].

Strategia „**najpierw najlepszy**” wykorzystuje pewną informację heurystyczną związaną z rozwiązywanym problemem do zminimalizowania kosztów przeszukiwania. Stosuje się pewną funkcję heurystyczną, która wyraża ocenę węzła ze względu na zbieżność, czyli osiągnięcie celu, najmniejszego kosztu drogi, najmniejszej złożoności obliczeniowej procesu przeszukiwania. Następnie do rozszerzania wybierany jest „najlepszy” węzeł spośród wszystkich węzłów rozpatrywanych do tej pory, niezależnie od ich położenia w grafie. Rozszerzenie węzłów jest dokonywane przez ekspansję, czyli generowanie wszystkich potomków.

Inną popularną metodą heurystycznego przeszukiwania jest **strategia A\***, której celem jest wyznaczenie najtańszej drogi w grafie. Wyrażenie  $f(w)=h(w)+g(w)$  to tzw. funkcja heurystyczna, która oznacza, że dla danego węzła  $w$  jest wyznaczana w sposób heurystyczny estymacja  $h(w)$  kosztu drogi łączącej węzeł  $w$  z węzłem celu, a następnie wyznacza się dla węzła  $w$  w koszt drogi łączącej węzeł początkowy  $p$  z węzłem  $w$ , co reprezentuje składnik  $g(w)$ .

Najbardziej znaną **strategią ślepa** jest **strategia w głąb**, a nazwa jej podkreśla kolejność przeszukiwania grafu. Droga w grafie jest wyznaczana dopóty, dopóki jej ostatni element nie zostanie określony jako węzeł celu lub końcowy. Przeszukiwanie jest zawsze prowadzone od ostatnio sprawdzanego węzła, którego nie wszystkie gałęzie były

jeszcze rozwijane. Główną operacją strategii w głąb jest ekspansja węzłów, tzn. generowanie wszystkich ich potomków.

Strategia ta może być nieskuteczna, gdy zostanie zastosowana do grafów o dużej głębokości, dlatego też omawiana metoda jest zazwyczaj uzupełniana mechanizmem kontroli ograniczenia głębokości. W sytuacji, gdy głębokość węzła przekracza ograniczenie lub węzeł spełnia kryterium końcowe, następuje powrót. Najważniejszą cechą strategii w głąb jest badanie kolejnych węzłów wzdłuż jednej ścieżki, z tego powodu strategia ta jest naturalna dla tych problemów i grafów, w których ocena właściwości węzłów zależy ściśle od oceny właściwości ich rodziców. W strategii tej dość łatwo można oszacować wymagania pamięciowe, gdyż w pamięci przechowywane są węzły z aktualnie badanej ścieżki grafu.

Kolejną strategią jest **strategia z powracaniem** i jest pewnego rodzaju modyfikacją algorytmu przeszukiwania w głąb. Główna różnica polega na tym, że ekspansja badanego węzła jest zastąpiona jego rozszerzeniem, czyli generowaniem jednego potomka. W sytuacji, gdy ten nowy węzeł nie spełnia kryterium celu lub końcowego, to jest dalej rozszerzany. Jeżeli po kolejnych rozszerzeniach otrzymany węzeł spełnia kryterium końca przeszukiwanego grafu lub nie można dla niego wygenerować nowego potomka, to następuje powrót do najbliższego przodka, dla którego jest możliwe wygenerowanie potomków.

W porównaniu do poprzednio omawianej strategii, **strategia z powracaniem** charakteryzuje się oszczędnością pamięci. Strategia ta gwarantuje, że po jej zakończeniu wszystkie wygenerowane węzły są przetestowane, czego nie zapewnia strategia w głąb, gdzie część węzłów otrzymanych w wyniku kolejnych ekspansji może w tym przypadku odbywać się kosztem komplikacji strategii. Oszczędność pamięci w tym przypadku odbywa się kosztem komplikacji strategii.

Natomiast **strategia wszerz**, badając kolejno poziomy, przyznaje wyższy priorytet węzłom o mniejszej głębokości. Algorytm wszerz wyznacza węzeł celu o najmniejszej głębokości w porównaniu z innymi węzłami celu. Główną operacją strategii wszerz jest ekspansja węzłów. Strategia ta daje gwarancję, że dla lokalnie skończonych grafów, czyli takich, w których każdy węzeł ma skończoną liczbę potomków, osiągnięciu się węzeł celu, jeśli istnieje.

Strategia ta ma bardzo pożądaną cechę zbieżności i jako pierwsze wyznacza rozwiązanie optymalne pod względem długości ścieżki rozwiązania. W strategii tej występują duże wymagania pamięciowe, gdyż analizowane są wszystkie węzły o głębokości mniejszej od głębokości wyznaczonego węzła celu, zamiast jednej ścieżki w pamięci przechowywane są wszystkie węzły o danej głębokości przed wygenerowaniem jakiegokolwiek węzła o głębokości o jeden większej.

Innym przykładem metod przeszukiwania jest **strategia zachłanna**. Główną operacją tej strategii jest ekspansja węzłów, po jej wykonaniu są badane nowe węzły i najbardziej obiecujący jest wybierany do dalszej ekspansji. W strategii zachłannej niemożliwe są powroty do żadnego

przodka aktualnie badanego węzła, gdyż strategia ta wykorzystuje lokalną optymalizację. Strategia ta odznacza się prostym algorytmem obliczeniowym, jednakże jej poważną wadą jest nieodwracalność, czyli brak możliwości powrotu do kierunków przeszukiwania, które na pewnym etapie były lokalnie gorsze. Taka właściwość może implikować sytuację w której badana jest droga prowadząca do węzła końcowego nie spełniającego kryterium celu lub do penetrowania drogi nieskończonej.

### 3. Wykorzystanie systemu ekspertowego w procesie decyzyjnym dotyczącym doboru kadry

Poniżej omówiony zostanie skorupowy system ekspertowy (system pozbawiony własnej wiedzy dziedzinowej) przybliżony, modelujący niejednoznaczność wiedzy za pomocą współczynników pewności, opisany przez Antoniego Niederlińskiego, który został wykorzystany do analizy problemu doboru kadry w przedsiębiorstwie. Reguły do bazy wiedzy były dobrane na podstawie teorii zarządzania w przedsiębiorstwie.

#### 3.1 Budowa systemu ekspertowego-skorupowego opartego o wnioskowanie elementarne przybliżone w przód

Istotnym elementem systemu jest struktura bazy wiedzy, która ma duże znaczenie dla żywotności i przyjazności systemu ekspertowego, należy projektować ją więc tak, aby składała się z plików tekstowych - bazy reguł, bazy ograniczeń, bazy rad. Nazwy wymienionych baz są pierwszymi dwoma literami odpowiednich plików tekstowych. Baza wiedzy, która jest integralną częścią systemu ekspertowego ma tu charakter indywidualny. Podstawową częścią bazy wiedzy są reguły.

Reguły bazy reguł mogą się zagnieżdżać, oznacza to, że wnioski niektórych reguł są warunkami innych reguł. Taka własność bazy reguł sprawia, że nie o wszystkie warunki powinien się system ekspertowy pytać użytkownika. Dlatego zbiór wszystkich warunków bazy reguł dzieli się na warunki dopytywalne, czyli takie, których wartość logiczna musi być określana przez użytkownika w odpowiedzi na pytanie zadane przez system wnioskujący, oraz warunki niedopytywalne, których wartość logiczna wynika z odpowiadających im reguł i wartości logicznej odpowiednich warunków dopytywalnych.

Ze względu na potrzebę stosowania różnych mechanizmów wnioskowania można bazy reguł klasyfikować w zależności od struktury zagnieżdżania reguł oraz pewności reguł.

W zależności od struktury zagnieżdżania reguł wyróżnia się bazy reguł elementarne, których warunki niedopytywalne nie mogą występować w postaci zanegowanej, oraz bazy reguł rozwinięte, mogące zawierać zanegowane warunki niedopytywalne.

Natomiast w zależności od pewności reguł rozróżnia się bazy reguł dokładne, których reguły są prawdziwe, a warunki i wnioski mogą być albo prawdą, albo nieprawdą, oraz bazy reguł przybliżone, których reguły, warunki i wnioski mogą mieć różne stopnie pewności.

Podczas konstrukcji bazy reguł mogą się w niej pojawić sprzeczności, które powinny zostać usunięte przed przystąpieniem do wnioskowania. Obecność sprzeczności może doprowadzić do niekończących się pętli a w konsekwencji do zawieszania się systemu wnioskującego.

W bazie reguł mogą się także pojawić nadmiarowości, które objawiają się jako niepotrzebne reguły i warunki, czyli takie które wyrażają to samo, co inne reguły i warunki oraz reguły, które zawierają dla pewnych wniosków bardziej złożone zestawy warunków aniżeli inne reguły dla tych samych wniosków. Nadmiarowość może być źródłem niedokładnych wyników wnioskowania, poza tym powiększa rozmiary bazy reguł i wydłuża czas wnioskowania.

Często baza reguł może nie mieć własnych faktów, lecz korzystać wyłącznie z faktów deklarowanych przez użytkownika – jednorazowo przed rozpoczęciem wnioskowania, lub kolejno w trakcie wnioskowania. Fakty takie są przechowywane w dynamicznej bazie danych.

Kolejną składową bazy wiedzy jest baza ograniczeń, która zawiera zbiory warunków dopytywalnych wykluczających się. W przeciwieństwie do bazy reguł, która jest niezbędną częścią bazy wiedzy, bazy ograniczeń może w ogóle nie być. Jednakże konstrukcja bardziej inteligentnego systemu ekspertowego wymaga wprowadzenia do bazy wiedzy informacji o zbiorach warunków dopytywalnych. Dzięki takiemu postępowaniu, system w przypadku uznania za prawdę jednego z kilku wykluczających się warunków lub w przypadku uznania za nieprawdę jednego z dwóch dychotomicznych warunków nie powinien już pytać o pozostałe warunki lub pozostały warunek, lecz automatycznie określić ich wartość logiczną.

Kolejną składową bazy wiedzy jest baza rad, która jest plikiem tekstowym zawierającym uporządkowane pary (numer\_reguły, nazwa\_pliku\_tekstowego rady\_dla\_reguły). Baza rad jest swego rodzaju katalogiem plików tekstowych rad dla danej bazy reguł.

Pliki rad są plikami tekstowymi rad, przyporządkowanymi poszczególnym regułom bazy reguł. Baza rad i pliki rad nie są niezbędnymi składowymi bazy wiedzy, bez nich system będzie nadal wnioskował, nie udzielając jednak użytkownikowi żadnych wskazówek.

Dane, na podstawie których dokonywane jest wnioskowanie w systemie ekspertowym, będące albo deklaracjami użytkownika albo wnioskami wynikłymi z dotychczasowych wnioskowań, są przechowywane w dynamicznej bazie danych. Ze wspomnianej bazy danych odczytywane są informacje przez system wnioskujący podczas testowania dalszych reguł. W ten sposób unika się powtórnego pytania użytkownika o prawdziwość warunku wcześniej przez niego uznanego lub nie uznanego za fakt oraz zapewnia się jednolitą obsługę danych przez system wnioskujący, niezależnie od ich pochodzenia.

Kończąc omawianie poszczególnych składowych systemu ekspertowego należy wspomnieć także o interfejsie użytkownika, który jest jego istotnym elementem. Dzięki łączu użytkownika możliwe jest ładowanie wybranej bazy wiedzy, wprowadzenie danych potrzebnych do wnioskowania, edytowanie wybranej bazy wiedzy, tworzenie nowej bazy wiedzy, kasowanie istniejącej bazy wiedzy, czytanie bądź kasowanie raportów wnioskowania.

Współczynniki pewności służą do oceny stopnia pewności warunków dopytywalnych, reguł oraz wniosków wprowadzonych z owych niepewnych reguł i niepewnych warunków dopytywalnych. Wnioskowanie przy użyciu współczynników pewności opiera się na założeniu, iż każdemu wnioskowi przyporządkowany jest odpowiedni współczynnik CF, charakteryzujący pewność tego, że warunek jest lub nie jest prawdziwy. Przykładowo warunek, którego prawdziwość jest całkowicie pewna oznaczany jest jako  $CF=1$ , z kolei  $CF=-1$  dotyczy przekonania o nieprawdziwości warunku.

Współczynniki pewności warunków dopytywalnych są deklarowane przez użytkownika przed lub w trakcie wnioskowania, często są wynikiem uśrednienia opinii szerokiego grona ekspertów.

Prowadzone są również intensywne badania teoretyczne i numeryczne, zmierzające do opracowania odpowiedniej metodologii wyznaczania współczynników pewności.

Współczynniki pewności warunków niedopytywalnych są wyznaczone w drodze wnioskowania. Wprowadzenie ujemnych wartości współczynników pozwala uwzględnić warunki sprzyjające i niesprzyjające wnioskowi, czyli takie, które powiększają bądź zmniejszają współczynnik pewności wniosku.

Tylko jeden warunek z listy warunków wykluczających się zawartej w bazie ograniczeń może mieć  $CF=1$ ; dla pozostałych  $CF=-1$ .

Reguły zapisywane są w bazie reguł w postaci klauzul-faktów:

Reguła(Nr\_reguły, Wniosek,[Warunek\_1,...,Warunek\_n])

Również każdej regule przyporządkowany jest współczynnik pewności. Współczynnik ten jest swego rodzaju wzmocnieniem określającym wpływ pewności warunków reguły na pewność wniosku reguły. I tak na przykład  $CF=0,5$  oznacza regułę, której warunki w połowie wzmacniają pewność wniosku swoją pewnością. Współczynniki pewności reguł są elementami bazy reguł i są one zapisywane w postaci:

Nr\_reguły Warunek\_1, Warunek\_2,...Warunek\_n-CF Wniosek.

Kolejna zasada dotyczy współczynnika pewności koniunkcji warunków znajdujących się w liście warunków reguły, który jest określany jako najmniejszy spośród współczynników pewności koniugowanych warunków:

$$CF(A,B,C,...) = \min(CF(A),CF(B),CF(C),...)$$

Współczynnik pewności wniosku reguły jest iloczynem współczynnika pewności reguły i współczynnika pewności koniunkcji warunków tej reguły. Dla reguły niepewnej:

$$A,B,C,...-CF_{reguły} \quad W$$

dla której jest:

$$CF(A,B,C,...) = \min(CF(A),CF(B),CF(C),...) = CF_{wniosków}$$

będzie:

$$CF(W) = CF_{reguły} * CF_{wniosków}$$

Współczynnik pewności sumy logicznej jednakowych wniosków należy wyznaczyć wtedy, jeżeli baza reguł ma szereg reguł dla tego samego wniosku. Współczynnik ten dla dwóch jednakowych wniosków równy jest sumie współczynników pewności tych wniosków, zmniejszonej o ich iloczyn, zakładając, że przynajmniej jeden z nich ma nieujemną wartość CF:

$$CF(Wniosek) = CF_1(Wniosek) + CF_2(Wniosek) - CF_1(Wniosek) * CF_2(Wniosek).$$

Współczynnik pewności sumy logicznej dwóch jednakowych wniosków, z których obydwa mają niedodatnie wartości CF, jest równy sumie współczynników pewności tych wniosków, powiększonej o ich iloczyn:

$$CF(Wniosek) = CF_1(Wniosek) + CF_2(Wniosek) + CF_1(Wniosek) * CF_2(Wniosek).$$

W przypadku większej liczby reguł z jednakowymi wnioskami postępujemy podobnie, po wyznaczeniu wartości dla dwóch pierwszych reguł, łączymy ją z wartością dla trzeciej reguły, itd.

W trakcie konstrukcji elementarnej przybliżonej bazy wiedzy mogą się do niej wkręcić sprzeczności. Rozróżnia się następujące rodzaje sprzeczności [12]:

- Sprzeczności typu SEP1. Źródłem sprzeczności typu SEP1 jest tylko baza reguł, cyfra 1 oznacza, że sprzeczność jest generowana w obrębie jednej bazy. Sprzeczności typu SEP1 są typu zewnętrznego, czyli wniosek reguły jest tożsamy z jednym z jej warunków.

Rozróżnia się następujące przypadki sprzeczności zewnętrznych typu SEP1:

- Reguła jest zewnętrznie SEP1-samosprzeczna, jeżeli jednym z jej warunków jest jej wniosek:

$$X,Y,Z-CF \quad Z$$

- Reguła 1 jest zewnętrznie bezpośrednio SEP1-sprzeczna z regułą 2:

$$X,Y,Z-CF1 \quad W$$

$$P,U,W-CF2 \quad Z$$

Zastąpienie np. warunku X reguły 1 czyni regułę 2 zewnętrznie SEP1-samosprzeczna.

1.3. Reguła 1 jest zewnętrznie pośrednio SEP1-sprzeczna z regułą 2, jeżeli podstawienie reguły 2 do innej reguły, tej zaś do jeszcze innej itd., doprowadza do reguły bezpośrednio SEP1-sprzecznej z regułą 1.

Wartości CF we wszystkich przypadkach nie wpływają na konkluzję o sprzeczności i są utrzymywane na pierwotnych wartościach przy spłaszczaniu reguł.

2. Sprzeczności typu SEP2. Źródłem sprzeczności typu SEP2 jest interakcja bazy wiedzy i bazy ograniczeń. Sprzecznością typu SEP2 jest występowanie reguły o warunkach wykluczających się w wyniku ograniczenia istniejącego w bazie ograniczeń np.:

$$A,B,C-CF1 \quad W, \text{ przy liście warunków wykluczających się w bazie ograniczeń: } (A,C).$$



W celu wykrycia tej sprzeczności, dokonuje się spłaszczenia reguł, tzn. wyraża wszystkie reguły za pomocą warunków dopytywalnych. Następnie testuje się owe warunki dopytywalne na obecność par warunków wykluczających się a danych przez bazę ograniczeń.

W elementarnych przybliżonych bazach wiedzy mogą występować nadmiarowości, które dotyczą tylko reguł o tym samym wniosku i jednakowych współczynnikach pewności np.:

A,B,C-0,3 W

A,B-0,3 W

Jednakże należy mówić o nadmiarowości niepewnej, gdyż na podstawie przytoczonego powyżej przykładu, twórca bazy reguł chciał uzyskać mały współczynnik pewności dla wniosku W w przypadku małego współczynnika pewności dla warunku C. Dlatego też występują następujące rodzaje nadmiarowości niepewnej [12]:

3. Nadmiarowości niepewne typu NEP1, których źródłem może być tylko elementarna dokładna baza reguł. Rozróżnia się:

3.1. Nadmiarowości niepewne typu NEP1.1, których istotą jest występowanie reguł o jednakowych wnioskach i jednakowych warunkach.

3.2. Nadmiarowością niepewną typu NEP1.2 jest występowanie reguł subsumowanych o jednakowym CF. Nadmiarowość ta występuje w przypadku, gdy jedna reguła jest subsumowana (zawarta) w innej regule.

3.3. Nadmiarowość niepewna typu NEP2 to taka, której źródłem jest interakcja bazy reguł i bazy ograniczeń np.:

A,B,C-CF W

A,B,D-CF W

A,B,E-CF W, baza ograniczeń(C,D,E).

Łatwo zauważyć, że wszystkie trzy reguły można zastąpić jedną: A,B-CF W.

Celem wnioskowania elementarnego przybliżonego w przód (typ wnioskowania systemu szkieletowego wykorzystanego do konstrukcji omawianego w pracy systemu ekspertowego) jest wyznaczenie współczynników pewności dla wszystkich wniosków elementarnej przybliżonej

bazy reguł, z uwzględnieniem odpowiadającej jej bazy ograniczeń oraz współczynników pewności warunków dopytywalnych, zadeklarowanych przez użytkownika. W wyniku wielokrotnego testowania elementarnej przybliżonej wszystkich reguł, w kolejności występowania ich w bazie reguł, wyznaczone są współczynniki pewności dla wszystkich wniosków.

Testowaniem elementarnym przybliżonym nazywa się wyznaczenie współczynnika pewności wniosku reguły na podstawie znajomości współczynnika pewności reguły oraz współczynników pewności jej warunków i wynikającą stąd aktualizację dynamicznych baz danych. Kolejne testowania elementarne przybliżone wszystkich reguł nazywa się cyklem testowania elementarnej przybliżonej. Podczas testowania elementarnej przybliżonej mogą pojawić się różne wyniki.

Jeżeli reguła ma warunek niedopytywalny o nieokreślonym współczynniku pewności, reguła jest nieokreślona i tymczasowo pomijana, wówczas następna reguła jest testowana. Może się jednak okazać, że przy kolejnym testowaniu, współczynnik pewności niedopytywalnego warunku tej reguły został w międzyczasie określony i można wreszcie wyznaczyć współczynnik pewności dla wniosku tej reguły.

Jeżeli natomiast wszystkie warunki reguły mają określone współczynniki pewności, to reguła jest spełniona i dla jej wniosku można wyznaczyć współczynnik pewności.

Z kolei, gdy kilka reguł ma ten sam wniosek, to należy dla wszystkich tych reguł wyznaczyć współczynniki pewności wniosków i zastosować je do wyznaczenia współczynnika pewności sumy logicznej jednakowych wniosków.

### 3.2 Zastosowanie - symulacja oceny kandydatów ubiegających się o stanowisko w firmie

Przykładowy test został przeprowadzony dla wersji skróconej bazy wiedzy w trzech wariantach:

Tabela 1. Wyniki testów dla kandydatów na poszczególne szczeble zarządzania.

Warunki dopytywalne i niedopytywalne dla kierownictwa szczebla:	TEST MAKSIMUM			TEST POŚREDNI			TEST MINIMUM		
	Naczelnego	Średniego	Niższego	Naczelnego	Średniego	Niższego	Naczelnego	Średniego	Niższego
odpowiednie kwalifikacje	1	1	1	-1	-0.8	1	-1	-1	-1
doświadczenie	1	1	1	-1	-0.9	1	-1	-1	-1
wyjazdy zagraniczne	1	1	1	0.6	0.6	0.6	-1	-1	-1
konferencje, szkolenia	1	1	1	-1	-0.9	1	-1	-1	-1
rozwijanie zainteresowań	1	1	1	0.5	0.5	0.5	-1	-1	-1
studia zagraniczne	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
znajomość najnowszych publikacji, narzędzi pracy	1	1	1	-1	-0.8	1	-1	-1	-1
<b>podnoszenie kwalifikacji</b>	1	1	1	-0.97	-0.9	0.99	-1	-1	-1
stopień podporządkowania rygorom organizacji	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1

stopień osiągnięcia celu, poziom i jakość w realizacji zadań	1	1	1	-1	-0.7	1	-1	-1	-1
wiek poniżej 30 lat	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
wiek pomiędzy 30 a 35 lat	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
wiek pomiędzy 35 a 40 lat	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
wiek pomiędzy 40 a 45 lat	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
wiek powyżej 45 lat	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
<b>wiek odpowiedni</b>	1	1	1	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
<b>skuteczność działania</b>	0.92	0.92	0.92	-0.91	-0.66	0.89	-0.91	-0.91	-0.91
stan wolny	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
bezdzienny/a	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
bez obowiązków alimentacyjnych	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
żonaty/zamężna	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
1 dziecko	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
2 dzieci	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
3 lub więcej dzieci	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
<b>stan rodzinny właściwy</b>	1	1	1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.4	-0.4	-0.4
<b>dyscyplina pracy</b>	0.91	0.91	0.91	-0.47	-0.29	0.84	-0.88	-0.88	-0.88
<b>kompetencje techniczne</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>-0.99</b>	<b>-0.96</b>	<b>0.99</b>	<b>-0.99</b>	<b>-0.99</b>	<b>-0.99</b>
inteligencja	1	1	1	0.2	0.2	0.2	-1	-1	-1
umiejętność podejmowania decyzji	1	1	1	-1	-0.9	-0.8	-1	-1	-1
odporność na stres	1	1	1	-0.5	-0.5	-0.5	-1	-1	-1
entuzjizm	1	1	1	0.7	0.7	0.7	-1	-1	-1
ekspansywność	1	1	1	0	0	0	-1	-1	-1
dobre oceny z przedmiotów ścisłych	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
umiejętnie ocenia fakty i informacje	1	1	1	-1	-0.8	0.1	-1	-1	-1
<b>zdolności analityczne</b>	0.92	0.92	0.92	-0.92	-0.78	-0.09	-0.92	-0.92	-0.92
<b>racjonalizm</b>	0.64	0.64	0.64	-0.64	-0.55	-0.06	-0.64	-0.64	-0.64
odpowiedzialność	1	1	1	0.2	0.2	0.2	-1	-1	-1
wytrwałość	1	1	1	0.3	0.3	0.3	-1	-1	-1
zdolności negocjacyjne	1	1	1	-1	-0.9	-0.5	-1	-1	-1
<b>elastyczność</b>	0.95	0.95	0.95	-0.95	-0.85	-0.47	-0.95	-0.95	-0.95
umiejętności organizacyjne	1	1	1	-1	-0.5	0	-1	-1	-1
właściwy wygląd zewnętrzny	1	1	1	-1	0.5	1	-1	-1	-1
<b>identyfikacja z firmą</b>	0.2	0.2	0.2	-0.2	0.1	0.2	-0.2	-0.2	-0.2
bogata mowa ciała	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
podtrzymywanie uwagi	1	1	1	-1	0.8	1	-1	-1	-1
umiejętność współdziałania	1	1	1	-1	0.8	1	-1	-1	-1
inicjatywa	1	1	1	-1	0.7	0.8	-1	-1	-1
<b>komunikatywność</b>	0.89	0.89	0.89	-0.81	0.79	0.88	-0.89	-0.89	-0.89
<b>kompetencje konceptualne</b>	<b>0.97</b>	<b>0.97</b>	<b>0.97</b>	<b>-0.72</b>	<b>-0.58</b>	<b>-0.27</b>	<b>-0.97</b>	<b>-0.97</b>	<b>-0.97</b>
wzbudzanie sympatii	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
umiejętności kontrolowania	1	1	1	-1	0.9	1	-1	-1	-1
umiejętności motywowania	1	1	1	-1	0.3	0.7	-1	-1	-1
cechy przywódcze	1	1	1	0.9	0.9	0.9	-1	-1	-1
dojrzałość emocjonalna	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
<b>kompetencje interpersonalne</b>	<b>0.97</b>	<b>0.97</b>	<b>0.97</b>	<b>-0.05</b>	<b>0.93</b>	<b>0.96</b>	<b>-0.97</b>	<b>-0.97</b>	<b>-0.97</b>
<b>WNIOSKI KOŃCOWE</b>									
<b>kierownictwo naczelne</b>	<b>0.7</b>			<b>-0.47</b>			<b>-0.7</b>		
<b>kierownictwo średniego szczebla</b>		<b>0.7</b>			<b>0.03</b>			<b>-0.7</b>	
<b>kierownictwo niższego szczebla</b>			<b>0.7</b>			<b>0.66</b>			<b>-0.7</b>

- **Wersja maksimum** oznacza, iż kandydat otrzymał możliwie pozytywną ocenę dla wszystkich dopytywalnych cech (dzięki zastosowaniu współczynnika pewności).
- **Wersja pośrednia** to test dla wybranej osoby.
- **Wersja minimum** dotyczy kandydata o możliwie negatywnych cechach.

Dzięki przeprowadzonym testom minimum i maksimum uzyskano potwierdzenie poprawności skonstruowanego systemu ekspertowego.

Współczynniki pewności warunków dopytywalnych (w tabeli 1. znajdują się w formie niewyboldowanej) były deklarowane w trakcie wnioskowania, współczynniki pewności warunków niedopytywalnych zostały wyznaczone na drodze wnioskowania.

Każdemu warunkowi jest przyporządkowany współczynnik pewności, będący liczbą z przedziału  $[-1,1]$  i charakteryzujący pewność tego, że warunek jest lub nie jest prawdziwy np.:

CF=1 oznacza warunek, którego prawdziwość jest zupełnie pewna,

CF=0.5 oznacza warunek być może prawdziwy,

CF=0 oznacza warunek o pewności niemożliwej do określenia,

CF=-0.5 oznacza warunek być może nieprawdziwy,

CF=-1 oznacza warunek którego nieprawdziwość jest całkowicie pewna.

Z testów przeprowadzonych dla wybranej osoby wynika, iż jest to kandydat o dużych predyspozycjach do zajmowania stanowiska niższego szczebla w organizacji. Wynik testu (CF=0.66) bliski wartości maksymalnej, jednoznacznie wskazuje, iż istnieje duże prawdopodobieństwo sukcesu podejmując na tej podstawie decyzję o zatrudnieniu.

Kandydata tego cechuje posiadanie bardzo wysokich kompetencji technicznych (CF=0.99), odpowiednich do proponowanego stanowiska. Wynika to ze spostrzeżenia, iż osoba ta ma odpowiednie kwalifikacje oraz doświadczenie (w obu przypadkach CF=1) niezbędne do podjęcia pracy w firmie, ponadto stale podnosi swoje kwalifikacje w tym zakresie (CF=0.99) poprzez odbywane podróże (CF=0.6), konferencje, szkolenia (CF=1), zna ponadto niezbędne zagadnienia z danej dziedziny i potrafi sprawnie wykorzystywać narzędzia istniejące na rynku, które mogą zwiększyć wydajność jej pracy (CF=1). Kandydat, o którym mowa, nie kształcił się za granicą (CF=-1), natomiast posiada liczne zainteresowania, których prawdziwości jednakże nie mogą potwierdzić (CF=0.5). Osoba ta została oceniona jako zdolna do całkowitego podporządkowania się rygorom organizacji (CF=1) i posiadająca potencjał do osiągnięcia maksymalnej jakości w realizacji zadań (CF=1). Biorąc pod uwagę wiek tej osoby (powyżej 45 roku życia), nie jest to kandydat będący w przedziale wiekowym preferowanym przez przedsiębiorstwo (CF(wiek odpowiedni)=0.4), jednak wydaje się, iż pozostałe jego cechy takie jak skuteczność działania (CF=0.89) zdołały podwyższyć ocenę ogólną. Z przeprowadzonego testu na kierownika niższego szczebla wynika ponadto, iż jest to osoba żonata, posiadająca jedno dziecko, system jednakże wskazuje, iż warunek „stan rodzinny właściwy”, należy do grupy tych trudnych do określenia (CF bliskie 0).

Kompetencje konceptualne w odróżnieniu od kompetencji technicznych zostały wyznaczone na bardzo niskim poziomie (CF=0.27). Współczynnik pewności określający poziom inteligencji u kandydata nie jest zadawalający (CF=0.2), co więcej osoba ta wpada w zakłopotanie w

sytuacji wymagającej podjęcia decyzji (CF=-0.8), prawdopodobnie nie jest ona odporna na stres (CF=-0.5) oraz w niewielkim stopniu potrafi oceniać fakty i informacje (CF=0.1). Ogólnie można stwierdzić, że dany kandydat nie posiada kompetencji konceptualnych, gdyż poszczególne składowe tj. zdolności analityczne (CF=-0.09), racjonalizm (CF=-0.06), odpowiedzialność (CF=0.2), elastyczność (CF=-0.47) nie osiągają w większości wymaganych wartości. Wyjątek w tej grupie stanowi cecha określana mianem komunikatywność (CF=0.88) oraz entuzjazm (CF=0.7).

Trzecią ważną grupą kompetencji wyznaczaną przy pomocy systemu ekspertowego są kompetencje interpersonalne, które bez wątpienia przedstawiają kandydata w bardzo korzystnym świetle (CF=0.96).

Podsumowując, pomimo małego potencjału kompetencji konceptualnych, kandydat ten na pewno sprawdzi się na stanowisku niższego szczebla, o które się ubiega. Intuicyjnie można zauważyć, iż kompetencje konceptualne nie są rodzajem kompetencji, które są niezbędne do wykonywania pracy kierowniczej na najniższym szczeblu. Wynika to z faktu, iż udział procentowy kompetencji konceptualnych w kompetencjach ogółem dla kierownictwa niższego szczebla (patrz tabela 1.) wynosi zaledwie 15% i nie wpływa w sposób istotny na całość oceny. Dużo większe znaczenie mają w tym przypadku kompetencje techniczne (50%) oraz interpersonalne (35%).

Dla tej samej osoby został przeprowadzony test na stanowisko kierownictwa średniego oraz wyższego szczebla. Istotne było znalezienie odpowiedzi na pytanie, czy ów kandydat będzie czerpał satysfakcję z wykonywanej pracy, czy też będzie to osoba nie wykorzystująca w pełni jego możliwości, a więc czy istnieje niebezpieczeństwo, iż opuści on firmę w poszukiwaniu awansu i ambitniejszych zadań.

Z przeprowadzonych analiz jednoznacznie wynika, że kandydat ten nie sprawdzi się jako kierownik naczelny (CF=-0.47), poważne wątpliwości istnieją również rozważając decyzję o jego zatrudnieniu jako kierownika średniego szczebla (CF=0.03).

Oceniając na nowo kandydata należało wziąć pod uwagę fakt, iż niektóre cechy są stałe tj. wiek, stopień podporządkowania rygorom organizacji, odporność na stres, entuzjazm, inne natomiast zmieniają się w zależności od szczebla zarządzania.

Na przykład doświadczenie, które jest idealne do zajmowania niższego szczebla w zarządzaniu (CF=1), w żaden sposób nie spełnia wymagań stawianych do zajmowania najwyższej pozycji w organizacji (CF=-1). System ekspertowy w swoisty sposób nagradza cechy, które idealnie przystają do opisu stanowiska. Na przykład udzielając odpowiedzi na warunek dopytywalny odnośnie kwalifikacji osoby, ubiegającej się o najniższe stanowisko, a posiadającej je na bardzo wysokim poziomie, należy udzielić tzw. „nagany” poprzez wpisanie współczynnika pewności CF(odpowiednie kwalifikacje=-1).

Postępowanie takie jest kierowane przekonaniem, iż dobierając osobę na wakuujące stanowisko pierwszym i pod-

stawowym warunkiem tegoż jest jasne określenie zadań wobec potencjalnych kandydatów. Precyzyjne opisanie stanowiska i sformułowanie kryteriów sprzyja niezawodności stosowanego systemu ekspertowego, obniża koszty, eliminuje stratę czasu firmy i kandydatów.

#### 4. Podsumowanie

Zaproponowany podział kadry (część A) jak również zaprojektowany system ekspertowy (część B) oraz zastosowane reguły i odpowiadające im współczynniki pewności są przykładem podejścia do problemu doboru kadr. System ten wspomaga podejmowanie decyzji na dużym stopniu ogólności, a więc również może być stosowany do doboru kadry na poszczególne szczeble zarządzania w większości organizacji.

Odpowiedni system ekspertowy pozwala te uwarunkowania lepiej poznać, będąc podstawą do opracowania późniejszych planów rozwoju.

Podobnych zależności jest więcej i warto brać je pod uwagę w procesie tworzenia bazy wiedzy. Zbiór zmiennych, które powinny być uwzględniane podczas konstrukcji systemu ekspertowego, jest niezwykle złożony i nierzadko trudno rozpoznawalny. Wspomniana złożoność wynika nie tylko z liczności czynników, ale także z ich wzajemnego powiązania oraz dynamiki zmian, jakie w nich zachodzą. Konstruując odpowiednie reguły i odpowiadające im współczynniki pewności należy pamiętać, że dobór kadr jest procesem dynamicznym, co oznacza, że powinny one podlegać zmianom (aktualizowaniu), w zależności od rozwoju sytuacji firmy i oddziałujących czynników, a ze względu na specyfikę systemów skorupowych nie powinno to stanowić większej trudności.

Niezbędnym warunkiem jest dysponowanie właściwym systemem informacji w celu prawidłowego dobrania reguł wraz ze współczynnikami pewności oraz precyzyjniejszego określenia współczynników pewności warunków dopytywalnych.

Dobór kadr wymaga więc dużej wyobraźni, a dzięki odpowiednim narzędziom tj. system ekspertowy, postanowienia w tym zakresie mogą być podejmowane z całą starannością, tak aby decyzje kadrowe miały realną użyteczność.

Filozofia doboru kadry, mająca swe odbicie podczas konstrukcji bazy wiedzy, sprowadza się do ustalenia podstawowych wartości. Może się okazać, iż w jakimś przypadku pierwszą, główną kwestią jest posiadanie odpowiednich kwalifikacji, natomiast w innym, priorytetową sprawą jest lojalność przyszłego pracownika (popularna niegdyś nomenklatura).

Należy także wziąć pod uwagę czynniki związane z otwartością organizacji i jej relacjami z podmiotami otoczenia. Spośród nich szczególne znaczenie mają regulacje prawne, rynek pracy, kierunki, poziom i tempo rozwoju gospodarczego kraju, instytucje edukacyjne, związki zawodowe, warunki regionalne.

Korzystanie z właściwie skonstruowanego systemu eks-

pertowego może przyczynić się do usprawnienia przebiegu procesu doboru kadr, a tym samym do obniżenia kosztów tego przedsięwzięcia, zracjonalizowania procesu kształtowania kadr poprzez dokonywanie trafnych wyborów, właściwego podziału obowiązków, poprawy stopnia wykorzystania kadr.

Najczęściej popełniane błędy podczas konstrukcji bazy wiedzy wykorzystywanej do procesu pozyskiwania kadr to przede wszystkim zbyt ogólnikowe lub zbyt wąskie określenie kryteriów, przemieszanie kryteriów formalnych i merytorycznych, nie tworzących spójnej całości, słabe związanie sformułowanych kryteriów z warunkami dotyczącymi stanowiska (brak właściwych opisów stanowisk), słabe przygotowanie osób do czynności doboru przy zastosowaniu systemu ekspertowego.

Trzeba jednoznacznie stwierdzić, że dobór zasobów ludzkich jest w znacznym stopniu sztuką, dlatego też w celu uniknięcia błędów w tym zakresie niezbędne wydaje się skonstruowanie bazy wiedzy przy pomocy osób blisko związanych z tą problematyką. Może to przybrać formę powołania zespołu zadaniowego, z udziałem doświadczonych menedżerów oraz specjalistów personalnych, bądź – w dużych firmach – utworzenia specjalnej komórki ds. prognozowania i rozwoju kadry. Ważne jest, by stworzony w ten sposób system ekspertowy, uwzględniał zewnętrzne i wewnętrzne uwarunkowania.

Podsumowując, stosowanie systemów ekspertowych jawi się jako interesująca i ważna metoda, pozwalająca na wysoce trafną identyfikację potencjału przyszłej kadry i przewidywanie powodzenia na stanowiskach kierowniczych. Systemy tego typu cechują się dużą obiektywizacją doboru, co w odróżnieniu od na przykład konkursów, będących często fasadą wcześniej podjętych wyborów, stanowi ich dodatkowy atut. Zważywszy, iż ich zastosowanie można rozszerzać na inne pola, takie jak na przykład analiza pracy, wydaje się ona godna zainteresowania.

Warto zauważyć, iż ocena pracowników jest właściwie stałym elementem każdej firmy. Systemy o których mowa pozwalają sformalizować proces oceny osób nie tylko podczas ich przyjmowania do pracy, ale także w trakcie zatrudnienia (umożliwia samodoskonalenie się), pomocne mogą być także przy odejściu, gdy wystawia się im opinię.

Należy sądzić, że wykorzystanie tej metody przez polskie podmioty gospodarcze, mogłoby przyczynić się do poprawy sprawności zarządzania i przynieść wymierne korzyści społeczne i ekonomiczne.

#### Literatura (References)

- [1] Gallant, S.T., „Neural Network Learning and Expert Systems”, MIT Press, 1993.
- [2] Gaynor G.H., „Exploiting Cycle Time in Technology Management” McGraw-Hill 1993.
- [3] Głodek Z., „Integracja systemów wspomaganie decyzji i systemów ekspertowych” Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego 137, 1995.

- [4] Goldberg D.E., Algorytmy genetyczne i ich zastosowania, WN-T, Warszawa, 1995.
- [5] Gensing L., „Jak rekrutować pracowników: odszukaj, wybierz i zatrudnij właściwych ludzi. Przewodnik dla małych i średnich firm”, M and A Communications Polska .....
- [6] Jackson Peter, „Introduction to Expert Systems”, Harlow, England: Addison Wesley Longman, 1999.
- [7] Kisielnicki J., „Informatyczna infrastruktura zarządzania” PWN, W-wa 1993.
- [8] Klonowski Z., „Implementacja systemów informatycznych w przedsiębiorstwie”, Prace Wrocławskiego Centrum Transferu Technologii, Politechnika Wroclawska 1995.
- [9] Koch R., „Strategia. Jak opanować i wprowadzić w życie najskuteczniejszą strategię”,..., Kraków 1998.
- [10] Kuznik-Bąk M., „Rozwój i integracja komputerowo wspomaganých systemów informacyjnych” Zeszyty Naukowe AE we Wrocławiu 474 , 1996.
- [11] Lubińska T., „Narzędzia budowy systemów bazy wiedzy” Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego 124, 1994.
- [12] Mulawka J.J., „Systemy ekspertowe”, Wydawnictwo Naukowe-Techniczne, Warszawa 1996.
- [13] Niederliński A., „Regułowe systemy ekspertowe”, Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice 2000.
- [14] Nikolopoulos C., „Expert Systems”, Marcel Dekker, New York, 1997.
- [15] Szajna J., Adamski M., Kozłowski T., „Turbo-Prolog. Programowanie w języku logiki”, WNT, Warszawa 1991.
- [16] Zieliński J.S., „Inteligentne systemy w zarządzaniu”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.