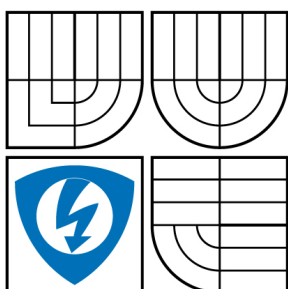


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## FUZZY PETRIHO SÍŤ PRO EXPERTNÍ SYSTÉMY

FUZZY PETRI NETS FOR EXPERT SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

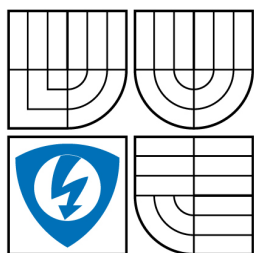
Bc. JINDŘICH MAKSANT

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VÁCLAV JIRSÍK, CSc.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Kybernetika, automatizace a měření

**Student:** Bc. Jindřich Maksant

**ID:** 83510

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2008/2009

## NÁZEV TÉMATU:

### Fuzzy Petriho sítě pro expertní systémy

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou fuzzy logiky, petriho sítí a konečně fuzzy petriho sítí
2. V souladu s tradiční koncepcí diagnostického expertního systému navrhnete způsob konstrukce báze znalostí za využití fuzzy petriho sítí.
3. Navrhnete a implementujete inferenční algoritmus schopný práce nad takovouto bází znalostí. Vytvořte alespoň primitivní uživatelské rozhraní (volba báze, průběh konzultace, výsledky).
4. Vytvořte několik demonstračních příkladů báze znalostí. Ukažte výpočetně a komentujte postup, jakým pracuje expertní systém při konzultaci nad těmito demonstračními bázemi.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Mařík, Štěpánková, Lažanský: Umělá inteligence

Leondes: Fuzzy Logic and Expert Systems

Giarratano, Riley: Expert systems - principles and programming

Turban, Aronson: Decision Support Systems and Intelligent Systems

Provazník, Kozumplík: Expertní systémy

Brachman, Levesque: Knowledge representation and Reasoning

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 25.5.2009

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

**prof. Ing. Pavel Jura, CSc.**

*Předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## Vysoké učení technické v Brně

### Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

#### Ústav automatizace a měřicí techniky

# FUZZY PETRIHO SÍTĚ PRO EXPERTNÍ SYSTÉMY

<b>OBOR</b>	Kybernetika, automatizace a měření
<b>STUDENT</b>	Bc. Jindřich Maksant
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

#### Abstrakt:

Diplomová práce pojednává o problematice expertních systémů, zvláště pak o netradiční reprezentaci jejich báze znalostí z pohledu Ústavu automatizace a měřicí techniky.

V první části práce je věnována pozornost teoretickému rozboru základních charakteristik a typů expertních systémů. Jako teoretická příprava k pozdější realizaci expertního systému je zde pojednání o problematice fuzzy logiky, Petriho sítí a fuzzy Petriho sítí.

V druhé části práce je proveden návrh fuzzy expertního systému pro výběr lyží. Jsou definovány fuzzy množiny, do nichž budou mapovány vstupní a výstupní proměnné. Báze znalostí je vytvořena pomocí fuzzy produkčních pravidel typu If – then. Dále je vytvořen soubor otázek, na které bude uživatel při své konzultaci s expertním systémem odpovídat.

V třetí části práce je navržený expertní systém realizován pomocí programovacího jazyka C#. Jeho báze znalostí je modelována fuzzy Petriho sítí a expertní systém nad takovouází pracuje.

V závěrečné části práce je pak provedeno srovnání výsledků konzultace při použití báze znalostí od dvou různých expertů.

**Brno University of Technology**  
**Faculty of Electrical Engineering and Communication**

**Department of Control and Instrumentation**

## **FUZZY PETRI NETS FOR EXPERT SYSTEMS**

**SPECIALIZATION** Automation and Measurements  
**STUDENT** Bc. Jindřich Maksant  
**SUPERVISOR** doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

### **Abstract:**

This thesis deals with expert systems, especially with the unusual representation of their knowledge base from the point of view of Department of Control and Instrumentation.

In the first part of the thesis the attention is paid to theoretical analysis of fundamental characteristics and types of expert systems. For further realization of expert systems there is theoretical preparation about fuzzy logic, Petri nets and fuzzy Petri nets.

In the second part of the thesis a proposal of expert system for choice of the ski is suggested. There is a definition of fuzzy sets, in which the input and output variables are mapped. The knowledge base is made by If – then fuzzy production rules. Further there is created the set of questions, which the user will answer in consultation with expert system.

In the third part of the thesis the proposed expert system is realized by the help of programming language C#. Its base of knowledge is represented by fuzzy Petri net and this expert system works above this base.

The final part is concerned with a comparison of two results of consultation using two different knowledge bases.

**Klíčová slova:**

Expertní systémy, Umělá inteligence, Zpracování znalostí, Fuzzy logika, Petriho sítě, fuzzy expertní systém, reprezentace báze znalostí, diagnostický expertní systém

**Klíčová slova - anglicky:**

Expert systems, Artificial intelligence, Knowledge representation, Fuzzy logic, Petri networks, fuzzy expert system, representation of knowledge base, diagnostic expert system

**Bibliografická citace práce:**

MAKSANT, J. *Fuzzy Petriho sítě pro expertní systémy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 85s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

## Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Fuzzy Petriho sítě pro expertní systémy jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne: **25. května 2009**

.....  
podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Václavu Jirsíkovi. CSc. a Ing. Petru Poláchovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji Bc. Jaroslavu Novákovi za užitečné rady při programování v jazyce C# a Bc. Mariánu Sehnálkovi za pomoc při vypracování báze znalostí.

V Brně dne: **25. května 2009**

.....  
podpis autora



## **OBSAH**

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>15</b>
<b>2. ÚVOD DO EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ.....</b>	<b>16</b>
2.1 Základní charakteristika expertních systémů .....	16
2.2 Struktura expertních systémů .....	17
2.2.1 Báze znalostí .....	18
2.2.2 Inferenční mechanismus .....	18
<b>3. ČINNOST EXPERTNÍHO SYSTÉMU .....</b>	<b>20</b>
<b>4. NÁVRH EXPERTNÍHO SYSTÉMU .....</b>	<b>21</b>
4.1 Postup při návrhu expertního systému .....	21
4.2 Získávání znalostí.....	21
4.3 Nástroje pro tvorbu expertních systémů.....	22
<b>5. TYPY EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ .....</b>	<b>23</b>
5.1 Diagnostické expertní systémy.....	23
5.2 Plánovací expertní systémy .....	23
5.3 Hybridní expertní systémy .....	24
5.4 Prázdné expertní systémy .....	25
<b>6. POUŽITÍ EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ .....</b>	<b>26</b>
<b>7. FUZZY LOGIKA .....</b>	<b>27</b>
7.1 Fuzzy množina .....	27
7.2 Operace s fuzzy množinami .....	30
7.2.1 Průnik.....	30
7.2.2 Sjednocení.....	31
7.2.3 Doplněk.....	32
7.3 Přibližné usuzování .....	32
7.3.1 Implikace Mamdami .....	33
<b>8. FUZZY EXPERTNÍ SYSTÉMY .....</b>	<b>34</b>
8.1 Fuzzifikace .....	35
8.2 Fuzzy inference .....	35

8.3 Agregace.....	35
8.4 Defuzzifikace.....	36
8.4.1 Metoda středu plochy – těžiště ( COA ) .....	36
<b>9. PETRIHO SÍTĚ.....</b>	<b>37</b>
9.1 Charakteristika Petriho sítí .....	37
9.2 C/E Petriho sítě.....	38
9.3 P/T Petriho sítě .....	39
9.4 Fuzzy Petriho sítě .....	40
9.4.1 Modelování základních typů fuzzy pravidel.....	42
<b>10. REPREZENTACE ZNALOSTÍ POMOCÍ FUZZY PETRIHO SÍTĚ .</b>	<b>45</b>
10.1 Fuzzy Petriho sítě typu 1 .....	45
10.1.1 Algoritmus tvorby množin dosažitelnosti $RS(p)$ a $IRS(p)$ .....	46
10.1.2 Algoritmus tvorby množiny míst $AP_{ik}$ .....	47
10.1.3 Algoritmus rozhodování ve Fuzzy Petriho síti typu 1 .....	47
10.1.4 Příklad Fuzzy Petriho sítě typu 1 .....	49
10.2 Fuzzy Petriho sítě typu 2 .....	52
<b>11. FUZZY EXPERTNÍ SYSTÉM S BÁZÍ ZNALOSTÍ MODELOVANOU FUZZY PETRIHO SÍTÍ .....</b>	<b>55</b>
11.1 Návrh fuzzy expertního systému .....	55
11.1.1 Vstupy a výstupy FES.....	56
11.1.2 Fuzzifikace vstupů .....	56
11.1.3 Báze znalostí – Příklad 1 báze znalostí.....	57
11.1.4 Báze znalostí – Příklad 2 báze znalostí.....	58
11.1.5 Konzultace .....	59
11.1.6 Defuzzifikace výstupu .....	60
11.1.7 Modelování báze znalostí pomocí fuzzy Petriho sítě .....	60
11.2 Programová realizace fuzzy expertního systému .....	65
<b>12. EXPERTNÍ SYSTÉM FES 1.0 .....</b>	<b>67</b>
12.1 Báze znalostí.....	70
12.2 Algoritmus FES 1.0.....	72
12.3 Výsledky konzultace .....	72

12.4 Ošetření možných chyb FES 1.0 .....	73
12.5 Aktualizace FES 1.0 .....	75
12.6 Příklady konzultace FES 1.0 .....	75
12.6.1 Příklad 1 .....	75
12.6.2 Příklad 2 .....	77
<b>13. ZÁVĚR.....</b>	<b>81</b>
<b>14. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>82</b>

## Seznam obrázků

- Obrázek č.1: Architektura expertního systému
- Obrázek č. 2: Zjednodušená činnost ES
- Obrázek č. 3: Blokové schéma diagnostického ES
- Obrázek č. 4: Blokové schéma plánovacího ES
- Obrázek č. 5: Průběh  $\Gamma$  – funkce
- Obrázek č. 6: Průběh L – funkce
- Obrázek č. 7: Průběh  $\Lambda$  – funkce
- Obrázek č. 8: Průběh  $\Pi$  – funkce
- Obrázek č. 9: Rozdělení universa do fuzzy množin
- Obrázek č. 10: Průnik dvou fuzzy množin
- Obrázek č. 11: Sjednocení dvou fuzzy množin
- Obrázek č.12: Doplněk fuzzy množiny
- Obrázek č.13: Příklad implikace Mamdami – diskrétní univerzum
- Obrázek č.14: Blokové schéma fuzzy expertního systému
- Obrázek č.15: Změna stavu při provedení události
- Obrázek č. 16: Elementární programy v C/E Petriho síti
- Obrázek č.17: Změna stavu při provedení události
- Obrázek č. 18: Model PN jednoduchého pravidla
- Obrázek č.19: Model FPN pro pravidlo  $R_1$
- Obrázek č.20: Model FPN pro pravidlo  $R_2$
- Obrázek č.21: Model FPN pro pravidlo  $R_3$
- Obrázek č.22: Model FPN pro pravidlo  $R_4$
- Obrázek č.23: Model FPN - 1 pro pravidla  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$
- Obrázek č. 24: Model pravidla  $R_1$
- Obrázek č. 25: Model pravidla  $R_2$
- Obrázek č. 26: Model pravidla  $R_3$
- Obrázek č. 27: Výsledný model pravidel  $R_1, R_2, R_3$
- Obrázek č.28: Fuzzifikace vstupních proměnných
- Obrázek č.29: Fuzzy množiny výstupní proměnné vhodnost

Obrázek č.30: Báze znalostí reprezentovaná FPN – 1

Obrázek č.31: Báze znalostí reprezentovaná kombinací FPN – 1 a FPN - 2

Obrázek č.32: Úvodní obrazovka FES 1.0

Obrázek č.33: Probíhající konzultace FES 1.0

Obrázek č.34: Zobrazení výsledků konzultace

Obrázek č.35: Báze znalostí zobrazená v editoru PSPad

Obrázek č.36: Uložené výsledky konzultace

Obrázek č.37: Chyba při otevírání báze znalostí

Obrázek č.38: Načtený soubor není báze znalostí

Obrázek č.39: Chyba v bázi znalostí

Obrázek č.40: Báze znalostí – Příklad 2

Obrázek č.41: Báze znalostí – Příklad 2

## Seznam tabulek

Tabulka č.1: Použití expertních systémů

Tabulka č.2: Tabulka množin dosažitelnosti

Tabulka č. 3: Pravidla vstupní proměnné pokročilost lyžaře

Tabulka č. 4: Pravidla vstupní proměnné rychlost lyžaře

Tabulka č. 5: Pravidla vstupní proměnné upravenost sjezdovky

Tabulka č. 6: Pravidla pro koncové modely lyží

Tabulka č. 7: Pravidla vstupní proměnné pokročilost lyžaře

Tabulka č. 8: Pravidla vstupní proměnné rychlost lyžaře

Tabulka č.9: Pravidla vstupní proměnné upravenost sjezdovky

Tabulka č. 10: Popis navržené FPN

Tabulka č. 11: Hodnoty míst pro příklad konzultace

Tabulka č. 12: Hodnoty míst pro příklad konzultace

Tabulka č. 13: Srovnání výsledků konzultace při použití dvou různých BZ

## 1. ÚVOD

Člověk během svého života nabyvá na zkušenostech. Po celý život je prakticky zahrnován různými daty a záleží na každém z nás, zda a jak tyto data přeměníme na informaci, která pro nás bude mít užitnou hodnotu. Tyto informace získáváme vstřebáváním učené látky ve škole, každodenní praxí a podobně. Člověk nabyvší mnoha informací v určitém oboru je nazýván expertem. Právě jeho znalostí a zkušeností je vhodné využít při řešení různých problémů.

Expert však nemůže být stále u nás a radit nám v každé situaci. Z hlediska realizovatelnosti to není možné. Proto byly na počátku 80. let vyvinuty počítačové programy simulující rozhodovací činnost experta – expertní systémy (ES).

ES představují rozsáhlou část oboru zvaného umělá inteligence. Zakládají se zejména na možnosti ukládání poznatků a zkušeností expertů z různých oborů. Na začátku 80. let byly spíše součástí výzkumných projektů a soustředil se na ně spíše zájem vědeckých pracovníků. V polovině 80. let prožily mimořádný rozvoj a nyní jsou používány v široké škále nejrůznějších oborů, jakými jsou například zemědělství, medicína, věda, stavebnictví, elektrotechnika, atd..

Tato práce si klade za cíl přehledně popsat problematiku ES a to z hlediska historie, základních charakteristik, různých druhů ES a zejména však z hlediska reprezentace znalostí. V práci bude popsána problematika fuzzy logiky a Petriho sítí a fuzzy Petriho sítí.

Jako praktická realizace této práce bude vytvořen ES jehož báze znalostí bude reprezentována fuzzy Petriho sítí. Takový ES bude schopen nad takovou bází pracovat a využívat ji ke konzultaci s uživatelem, podávat informaci o průběhu konzultace a o výsledku konzultace.

Jako poslední část práce budou vytvořeny různé příklady báze znalostí pro navržený ES a budou porovnány výsledky jednotlivých konzultací.

## 2. ÚVOD DO EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ

### 2.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ

Expertním systémem rozumíme soubory počítačových programů simulujících rozhodovací činnost experta při řešení složitých a úzce specifikovaných úloh. Využívají vhodně zakódovaných znalostí experta vyjádřených v bázi znalostí s cílem dosáhnout kvality rozhodování na jeho úrovni. Jsou založeny na převzetí znalostí od experta a jejich zakódování tak, aby je bylo možné použít při rozhodování stejným způsobem, jako je tomu u experta. Jsou vhodné pro řešení takových úloh, jejichž řešení je považováno za obtížné, časově náročné nebo jej může provést pouze specialista v daném oboru. [1]

Jak již bylo dříve zmíněno, ES systém využívá znalostí od experta a to jak objektivních, tak i subjektivních. Subjektivní znalosti představují zkušenosti získané za dobu praxe a právě tyto znalosti dělají experta expertem. Objektivními znalostmi rozumíme prostá fakta.

První expertní systémy byly použity již v 70. letech minulého století a jsou významným příkladem použití nástrojů umělé inteligence v praxi a také důkazem toho, že kvalita systémů s umělou inteligencí závisí daleko více na kvalitě znalostí, než na mechanismu jejich využívání.

Hlavními znaky expertních systémů jsou: [2]

- oddělení báze znalostí od mechanismu pro jejich využívání
  - je možné vytvářet prázdné expertní systémy, ve kterých může jeden inferenční mechanismus pracovat s více než jednou bází znalostí.
- neurčitost v bázi znalostí a v bázi dat
  - způsobeno heuristikami, subjektivními pocity experta, atd.
- dialogový režim
  - konzultace uživatele s ES podobně jako s expertem, stylem otázka – odpověď.



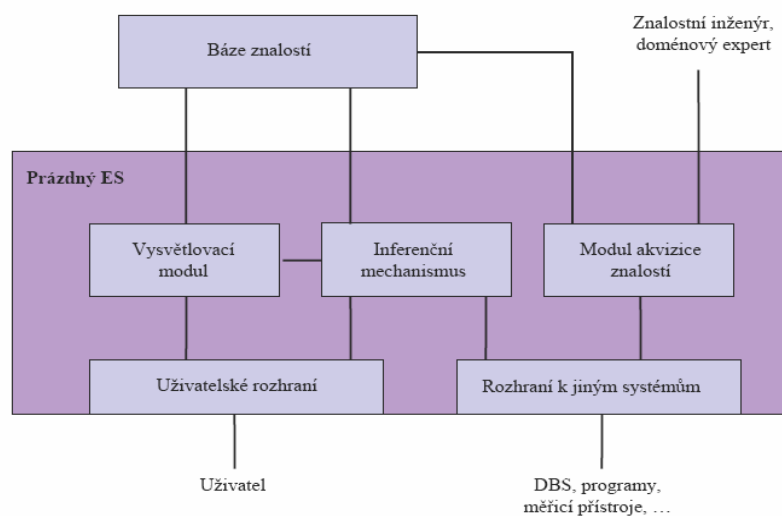
- vysvětlovací činnost
  - ES by měl své závěry zdůvodnit a osvětlit uživateli způsob svého „uvažování“ a stejně tak i poskytnout informace o cílových hypotézách

## 2.2 STRUKTURA EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ

ES se skládá z následujících částí: [2]

- báze znalostí
- inferenční mechanismus
- I/O rozhraní ( uživatelské, vývojové, apod. )
- vysvětlovací modul
- modul pro získávání znalostí

Obrázek č.1 nám ukazuje architekturu expertního systému. Za povšimnutí stojí oddělená báze znalostí od mechanismu pro její využívání.



Obrázek č.1: Architektura expertního systému [2]

### 2.2.1 Báze znalostí

V bázi znalostí jsou uloženy všechny znalosti experta a to jak obecné znalosti, tak vysoce odborné. Znalostmi v podstatě rozumíme pravidla, kterými se expertní systém řídí.

Součástí báze znalostí jsou také heuristiky a nejisté znalosti. Jedná se o neexaktně dokázané znalosti, které expert nabývá postupně během své praxe - zkušenosti. Přítomnost těchto heuristik a nejistých znalostí je označována jako nejistota v bázi znalostí. [5]

Znalosti a zkušenosti experta se časem rozrůstají. Proto musí být zajištěno to, aby se báze znalostí pravidelně aktualizovala a odpovídala tak nejnovějším poznatkům v daném oboru.

Nejnovější expertní systémy neppracují jen s jednou bází znalostí. K řešení problému využívají více samostatnýchází. Ty pak označujeme jako zdroje znalostí. Tento systém se užívá u expertních systémů pracujících na principu černé tabule a bude vysvětlen později.

Znalosti můžeme klasifikovat jako: [2]

- mělké (shallow knowledge) – založeny na empiristických a heuristických znalostech
- hluboké ( deep knowledge ) – založeny na základních strukturách, funkcích a chování objektů

### 2.2.2 Inferenční mechanismus

Inferenční neboli odvozovací mechanismus je jádrem systému. Je složen ze souboru kooperujících programů realizujících proces hledání řešení nad bází znalostí a vstupními daty. Touto funkcí napodobuje činnost experta.

Typický inferenční mechanismus je založen na: [2]

- inferenčním pravidle pro odvozování nových poznatků z existujících znalostí

- strategii prohledávání v bázi znalostí

Inferenční mechanismus používá následující metody inference: [2]

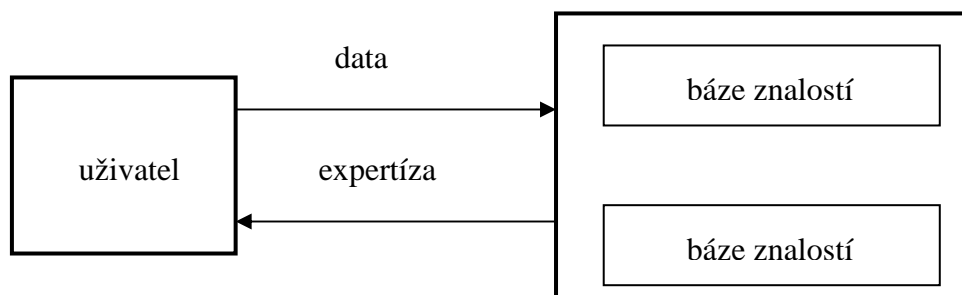
- dedukce – logické usuzování, při němž závěry vyplývají z předpokladů
- indukce – postup od specifického příkladů k obecnému
- abdukce – usuzování od závěru k předpokladům, které tento závěr způsobily
- heuristiky – pravidla založená na zkušenostech
- generování a testování – metoda pokusů a omylů
- analogie – odvozování závěru na základě podoby s jinou situací
- defaultní inference – usuzování na základě obecných znalostí při absenci specifických znalostí
- nemonotónní inference – je možný ústup od dosavadních znalostí na základě pozorování

Inferenční mechanismus pracuje s neurčitostí v bázi znalostí a bázi dat. Takové neurčitosti zpracovává například pomocí fuzzy logiky, Bayesovského přístupu a dalších.

### 3. ČINNOST EXPERTNÍHO SYSTÉMU

Zjednodušenou činnost ES můžeme vidět na Obrázku č.2. Data od uživatele o konkrétní úloze vstupují do ES. Řídící mechanismus na jejich základě a na základě báze znalostí odvozuje konkrétní závěry o řešení úloze a poskytuje uživateli požadovanou expertízu. Proces generování expertízy se nazývá inference, což je analogický výraz k výrazu usuzování používaného při poskytování analýzy lidským expertem. Dalo by se také říci, že inference je strojové usuzování. [3]

ES může také používat expert. V takovém případě pak slouží ES jako inteligentní asistent přispívající k vyšší efektivitě při řešení problémů.



Obrázek č. 2: Zjednodušená činnost ES [3]

## 4. NÁVRH EXPERTNÍHO SYSTÉMU

Prvním rozhodnutím ještě před tvorbou expertního systému je, zda jej dělat nebo nedělat. Je potřeba zvážit, zda daný problém nemá jednodušší algebraické řešení a tvorba expertního systému by tak byla zbytečná.

### 4.1 POSTUP PŘI NÁVRHU EXPERTNÍHO SYSTÉMU

Tvorbou ES se zabývá expertní inženýrství. Vlastní tvorbě ES předchází řada činností, které nejdříve rozhodnou, zda ES vůbec zjednoduší řešení daného problému. Řeší se otázky, zda ES usnadní dosavadní řešení problému, výhody nepřevýší náklady na jeho vývoj, zda je realizovatelný nebo zda bude skutečně využíván. [3]

Následuje specifikace problému, kdy znalostní inženýr získává představu o tom, jak daný problém řeší expert. Poté již následuje samotný vývoj ES spočívající v těchto krocích: [6]

- konceptuální návrh – popisuje co bude ES dělat
- návrh implementace – volba inferenčního mechanismu a způsobu reprezentace znalostí
- implementace – vytvoření báze znalostí
- vyhodnocení – zkušební konzultace experta s ES
- změny návrhu

### 4.2 ZÍSKÁVÁNÍ ZNALOSTÍ

Jedná se o nejdůležitější, nejpracnější a nejvíce časově náročnou operaci implementace ES. Získávání znalostí je označováno jako akvizice znalostí a existují dva druhy: [6]

- získávání znalostí od expertů – konzultace experta a expertního inženýra
- strojové učení – získávání znalostí z dat, obrázků, apod.

### 4.3 NÁSTROJE PRO TVORBU EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ

Nejobecnějšími nástroji pro tvorbu ES jsou tzv. vyšší programovací jazyky – Basic, Delphi, Pascal, C, aj.. K samotné tvorbě ES nejsou však příliš používané a užívají se spíše pro přeprogramování již existujících ES.

K tvorbě ES se využívají speciální nástroje: [2]

- jazyky umělé inteligence – Lisp, Prolog
- prostředí – produkční jazyk OPS – 5
- soubory nástrojů a hybridní nástroje – KEE, ART, KnowledgeCraft
- prázdné expertní systémy – tzv. shells, například NPS32, FEL-EXPERT

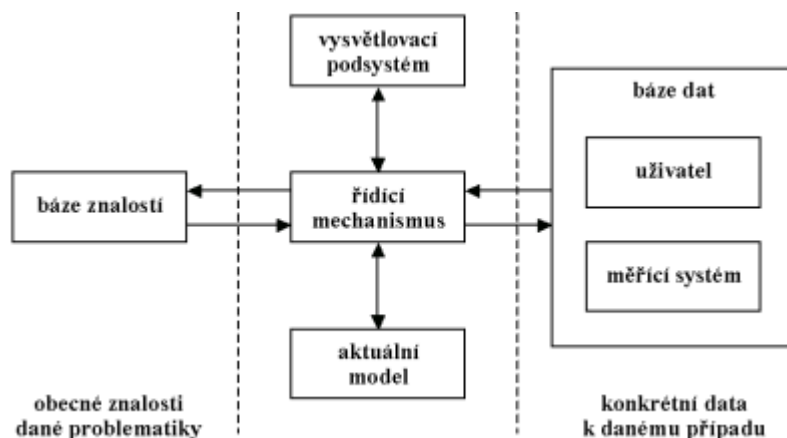
## 5. TYPY EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ

### 5.1 DIAGNOSTICKÉ EXPERTNÍ SYSTÉMY

Úkolem diagnostických ES je stanovit, která z předem daných hypotéz nejlépe koresponduje s daty z daného příkladu. Řešení spočívá v postupném ohodnocování a přehodnocování dílčích a cílových hypotéz.

Řídící mechanismus tak po každé odpovědi upřesňuje aktuální model konzultovaného případu. Vybírá otázky, od kterých očekává největší přínos k řešení daného příkladu. Báze dat může být tvořena přímými odpověďmi uživatele a také změřenými daty.

Příkladem takového ES může být expertní systém určující diagnózu pacienta na základě jeho subjektivních potíží.



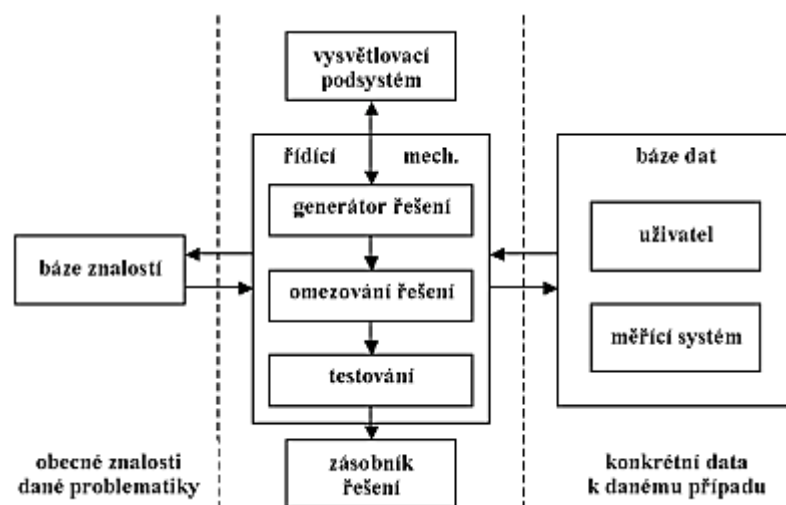
Obrázek č. 3: Blokové schéma diagnostického ES [7]

### 5.2 PLÁNOVACÍ EXPERTNÍ SYSTÉMY

U plánovacích ES je předem a znám cíl řešení a počáteční stav. Úkolem je nalézt posloupnost kroků, které vedou k danému cíli při známých datech o řešeném

případu. Znalost experta se zde využívá k omezení tzv. kombinatorické exploze, která vede k nárůstu počtu kombinací posloupnosti kroků vedoucích k řešení při nárůstu počtu operandů.

Hlavní částí plánovacího ES je generátor řešení vytvářející kombinace posloupností operátorů. Výstupem pak je obvykle seznam navrhovaných řešení ohodnocený mírou optimality. Ta se přitom během konzultace dynamicky mění.



Obrázek č. 4: Blokové schéma plánovacího ES [7]

Představitelem plánovacích ES je expertní systém Dendral, který odvozuje strukturu chemických látek na základě jejich histogramu. [7]

### 5.3 HYBRIDNÍ EXPERTNÍ SYSTÉMY

Využívají principů plánovacích a diagnostických ES. Příkladem by mohl být interaktivní výukový program, který by zkoušel znalosti studenta a pak následně naplánoval pro něj optimální typ výuky.



#### 5.4 PRÁZDNÉ EXPERTNÍ SYSTÉMY

Prázdne ES, tzv. „shells“ neobsahují ani bázi znalostí ani bázi dat. Dodáním těchto bází se pak orientují na konkrétní řešený případ.

Mezi prázdne ES patří systémy pracující na principu tabule. Je tak simulována diskuse více expertů, kteří své závěry píší na tabuli. Z těchto dílčích závěrů je pak učiněn celkový konečný závěr. Tento ES pracuje s více bázemi znalostí.

## 6. POUŽITÍ EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ

Jedním z prvních odladěných ES byl diagnostický ES Mycin vzniklý v roce 1973. Jeho závěrů bylo využíváno při diagnóze nemocí. Na tomto systému bylo jasně ukázáno, že lze u ES realizovat automatickou aktualizaci, vysvětlovací schopnost a hlavně oddělení báze znalostí od inferenčního mechanismu.

Hromadný rozvoj ES nastal na začátku 80. let, kdy se začaly rozšiřovat systémy z výzkumných laboratoří do komerčního prostoru. V Tabulce č.1 můžeme vidět oblasti, ve kterých se ES používají.

Tabulka č.1: Použití expertních systémů [2], [5]

Aplikace	Činnost expertního systému
Konfigurace	Návrh propojení komponent složitých systémů správným způsobem
Diagnostika	Stanovení diagnózy na základě předložených faktů
Instruktaž	Inteligentní učení
Interpretace	Vysvětlovací činnost
Monitorování	Srovnává pozorovaná data s očekávanými
Plánování	Navrhuje řešení s účelem dosáhnout žádaných výsledků
Prognózování	Predikuje výsledky a vývoj situace
Poradenství	Poskytuje návody na řešení úkolu
Řízení	Regulace procesů

## 7. FUZZY LOGIKA

Slovo fuzzy pochází z angličtiny a znamená nejasný, neostrý, mlhavý, neurčitý. Proto fuzzy logiku chápeme jako nejasnou, neostrou, mlhavou a neurčitou. Výroky fuzzy systému mohou nabývat hodnot ležících mezi hodnotami výroku „zcela pravdivý“ a „zcela nepravdivý“. Čistě teoreticky tak může nabývat nekonečně mnoha hodnot. [4]

Hlavními důvody pro používání fuzzy logiky jsou dobré zpracování neurčitosti a vyloučení nadbytečné informace.

### 7.1 FUZZY MNOŽINA

Mějme klasickou množinu  $C$  definovanou na univerzu  $U$ . Pak můžeme tedy o každém prvku  $u \in U$  říci, že  $u \in C$  nebo, že  $u \notin C$ . U fuzzy množin může prvek z univerza  $U$  do fuzzy množiny patřit pouze částečně. Fuzzy množina tedy připouští mimo úplného nebo žádného členství také členství částečné. Prvek tak do množiny patří s určitou pravděpodobností, kterou označujeme stupněm příslušnosti: [4]

$$\mu_F(u) \in [0, 1] \quad (1)$$

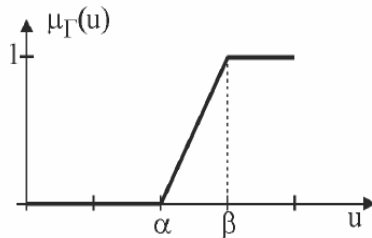
Pokud je  $\mu_F(u) = 1$ , můžeme s jistotou tvrdit, že prvek  $u$  do fuzzy množiny  $F$  patří s hodnotou funkce příslušnosti  $\mu_F(u) = 1$ .

Naopak, je-li  $\mu_F(u) = 0$  můžeme s jistotou tvrdit, že prvek  $u$  do fuzzy množiny  $F$  nepatří.

Funkce přiřazující tuto hodnotu se jmenuje funkce příslušnosti  $\mu_F$ . [4]

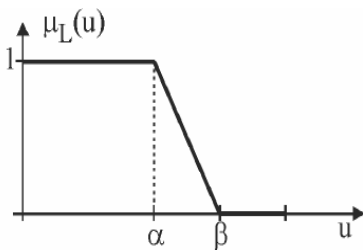
$$\mu_F : U \rightarrow [0, 1] \quad (2)$$

Tvar funkce příslušnosti je různý. Základními tvary jsou  $\Gamma$  – funkce,  $L$  – funkce,  $\Lambda$  – funkce a  $\Pi$  – funkce. Průběhy a definice jednotlivých funkcí můžeme vidět na obrázcích níže.



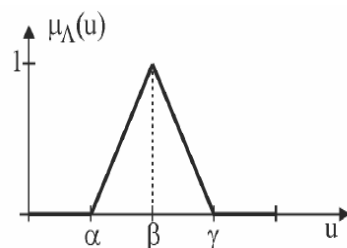
$$\Gamma(u, \alpha, \beta) = \begin{cases} 0 & u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 & u > \beta \end{cases}$$

Obrázek č. 5: Průběh  $\Gamma$  – funkce [4]



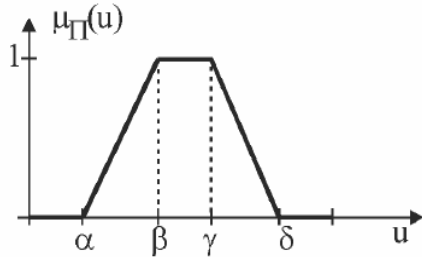
$$L(u, \alpha, \beta) = \begin{cases} 1 & u < \alpha \\ (\beta - u) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ 0 & u > \beta \end{cases}$$

Obrázek č. 6: Průběh  $L$  – funkce [4]



$$\Lambda(u, \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ (\gamma - u) / (\gamma - \beta) & \beta < u \leq \gamma \\ 0 & u > \gamma \end{cases}$$

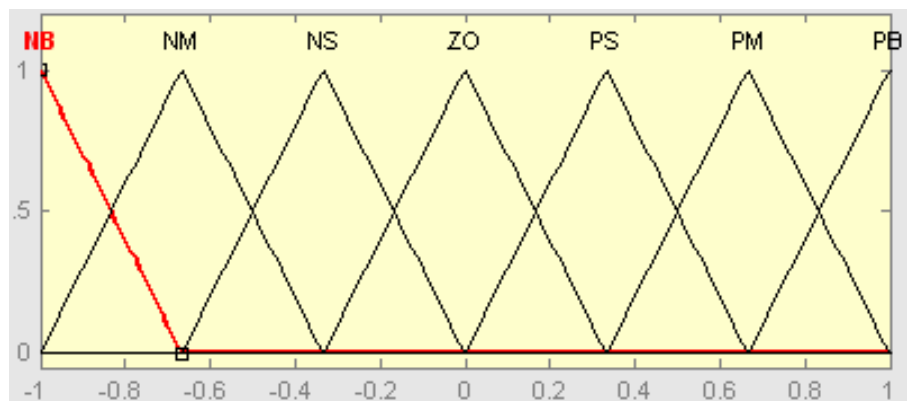
Obrázek č. 7: Průběh  $\Lambda$  – funkce [4]



Obrázek č. 8: Průběh  $\Pi$  – funkce [4]

$$\Pi(u, \alpha, \beta, \gamma, \delta) = \left. \begin{array}{ll} 0 & u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 & \beta \leq u \leq \gamma \\ (\delta - u) / (\gamma - \delta) & \gamma \leq u \leq \delta \\ 0 & u > \delta \end{array} \right\}$$

Na Obrázku č.9 můžeme vidět rozdělení universa  $U = \langle -1, 1 \rangle$  do jednotlivých fuzzy množin s trojúhelníkovými tvary funkcí příslušnosti. Těchto množin je 7 a pokrývají celé universum. Jejich tvar a rozložení na universu je dáno znalostmi a zkušenostmi experta.



Obrázek č.9: Rozdělení universa do fuzzy množin

Například zápis funkce příslušnosti fuzzy množiny NM pak vypadá takto:  $\Lambda(u, -1, -0.3)$ .

Fuzzy množina  $F$  je jednoznačně určena množinou dvojic prvků  $u \in U$  a jim odpovídajících hodnot funkce příslušnosti  $u_F(u)$ . Fuzzy množinu můžeme tedy obecně zapsat takto: [4]

$$F = \{(u, u_F(u)) / u \in U\} \quad (3)$$

Fuzzy množinu lze také definovat na diskrétním konečném nebo spočetném univerzu takto: [4]

$$F = \sum_{u \in U} u_F(u) / u \quad (4)$$

Na spojitém nebo nespočetném univerzu můžeme fuzzy množinu definovat takto: [4]

$$F = \int_U u_F(u) / u \quad (5)$$

## 7.2 OPERACE S FUZZY MNOŽINAMI

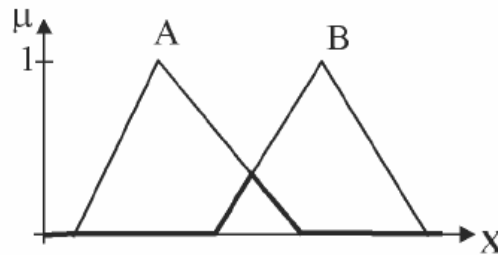
Stejně jako u klasických množin, existuje i u fuzzy množin operace průniku, sjednocení, doplňku, omezeného součtu, omezeného rozdílu a dalších.

### 7.2.1 Průnik

Operace průniku je definována takto: [3]

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (6)$$

Operaci průniku fuzzy množin můžeme vidět na Obrázku č.10.



Obrázek č. 10: Průnik dvou fuzzy množin [4]

Obecně lze operaci průniku popsat pomocí tzv. triangulární normy (t-norma). Jsou-li dána čísla  $\{a, b, c, d\} \in [0,1]$ , potom pro t-normu platí  $(a,b) = \hat{a} * b$ . Splňuje tyto axiomy: [3]

komunikativnost:  $\hat{a} * b = b * a$

asociativnost:  $(\hat{a} * b) * c = a * (b * c)$

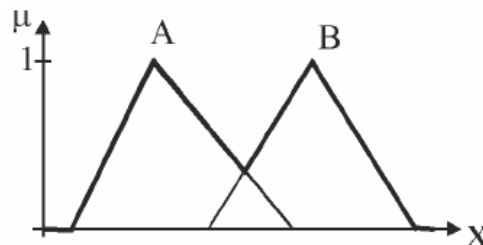
monotónnost:  $\hat{a} * b \leq c * d$

hraniční podmínka  $\hat{a} * 1 = a$

### 7.2.2 Sjednocení

Operace sjednocení je definováno takto: [3]

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (7)$$



Obrázek č. 11: Sjednocení dvou fuzzy množin [4]

Stejně jako k průniku, lze i k sjednocení přistupovat obecně a to pomocí triangulární t co-normy (s-normy)  $s(a.b) = a * b$ .

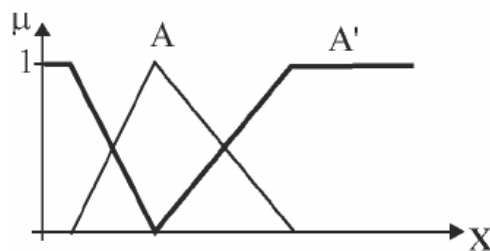
Pro s-normu platí stejné axiomy jako pro t-normu. Pouze pro hraniční podmínku platí:

$$a * 0 = a \quad (8)$$

### 7.2.3 Doplněk

Operace doplněk je definována takto: [3]

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (8)$$



Obrázek č.12: Doplněk fuzzy množiny [4]

## 7.3 PŘIBLIŽNÉ USUZOVÁNÍ

Fuzzy logika nachází uplatnění, mimo jiných aplikací také v ES. Hlavně díky její schopnosti dobře zpracovat vágní data ( neurčitosti ) například zavedením slovních ( lingvistických ) proměnných. Mějme například pravidlo:

$$\text{If ( x je malé) then ( y velké).} \quad (9)$$



Toto pravidlo obsahuje neurčitost v datech, a to jak vstupních, tak i výstupních. Hodnota výroků je popsána lingvistickou (jazykovou) proměnnou, jejíž pravdivostní hodnota se bude pohybovat v intervalu [0,1]. Jednotlivé výroky mohou být propojeny logickými spojkami AND,OR a NOT (konjunkce, disjunkce a negace) a vytvářet složené fuzzy výroky.

Jazyková proměnná má několik parametrů: [4]

- symbolické jméno
- slovní hodnotu
- číselný rozsah – univerzum
- funkci - mapuje slovní hodnoty na hodnoty univerza

Fuzzy výrok (9) představuje fuzzy implikaci. V dnešní době je známo kolem 40 implikací. Nejpoužívanější implikací je Implikace Mamdami. [4]

### 7.3.1 Implikace Mamdami

Patří mezi nejpoužívanější implikace v regulaci a v aplikacích ES. Pro její fuzzy relaci a pro její funkci příslušnosti platí: [4]

$$R_C = ce(A) \cap ce(B) = \int \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) / (x, y) \quad (10)$$

$$\mu_{R_C}(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (11)$$

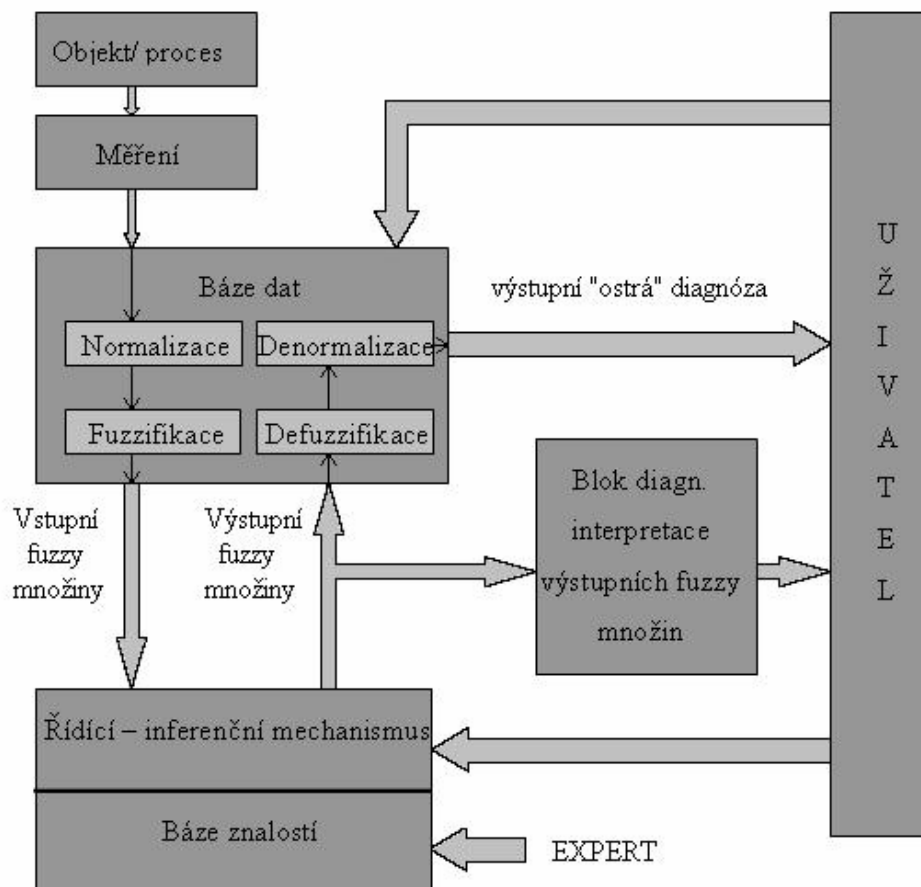
	$ce(A)$				$ce(B)$				$ce(A) \cap ce(B)$				
	$y_1$	$y_2$	$y_3$		$y_1$	$y_2$	$y_3$		$y_1$	$y_2$	$y_3$		
$x_1$	0,1	0,1	0,1	∩	$x_1$	0,2	0,5	0,9	=	$x_1$	0,1	0,1	0,1
$x_2$	0,4	0,4	0,4		$x_2$	0,2	0,5	0,9		$x_2$	0,2	0,4	0,4
$x_3$	0,7	0,7	0,7		$x_3$	0,2	0,5	0,9		$x_3$	0,2	0,5	0,7
$x_4$	1	1	1		$x_4$	0,2	0,5	0,9		$x_4$	0,2	0,5	0,9

Obrázek č.13: Příklad implikace Mamdami – diskretní univerzum [4]

## 8. FUZZY EXPERTNÍ SYSTÉMY

Fuzzy expertní systém ( FES ) spojuje vlastnosti diagnostického ES a fuzzy logiky. Výhodou je volba dotazů a odpovědí formou lingvistických proměnných, popřípadě vyjádření báze znalostí touto formou. Vyjádření stavu lingvistickou formou je pro uživatele či experta mnohdy přijatelnější než vyjádření čísly. Tímto přístupem ve FES dochází k dobrému postihnutí neurčitostí v bázi znalostí.

Blokové uspořádání FES je uvedeno na Obrázku č.15. Uspořádání má FES podobné jako standardní ES. Rozdíl je v tom, že báze znalostí je tvořena souborem fuzzy pravidel. Aktuální model zde bývá označován jako fuzzy model.



Obrázek č.14: Blokové schéma fuzzy expertního systému [8]

FES využívají prostředků fuzzy logiky a fuzzy množin. Inference se zde provádí na základě fuzzy pravidel a funkcí příslušnosti. Množina fuzzy pravidel tvoří bázi znalostí.

Základními operacemi ve FES jsou fuzzifikace, inference, agregace a defuzzifikace. Jednotlivé operace jsou podrobněji zpracovány níže. [12]

### 8.1 FUZZIFIKACE

Fuzzifikace je přiřazení hodnoty funkce příslušnosti k ostrým hodnotám vstupní funkce. Koná se tak převedení reálných proměnných na jazykové proměnné. Ke každé proměnné jsou přiřazeny její termy. Například proměnná výkon může mít následující termy: nízký, střední, vysoký. Obvykle se používá tři až sedm termů. Stupeň příslušnosti termů v jazykové proměnné je vyjádřen matematickou funkcí popsanou již v kapitole 7.1. Jak takové přiřazení vypadá vidíme na Obrázku č.9. Ve většině případů se stává, že ostrá hodnota náleží do dvou nebo více fuzzy množin. Proto pro jednoznačné přiřazení ostré hodnoty určíme fuzzy množinu, v níž ostrá hodnota nabývá největší hodnoty funkce příslušnosti.

### 8.2 FUZZY INFERENCE

Fuzzy inference definuje chování celého systému pomocí pravidel If - then, která jsou již popsána v kapitole 7.3. Soubor těchto pravidel tvoří bázi znalostí a jádro celého expertního systému.

Každému pravidlu může být přiřazena jeho váha, která určuje stupeň aktivace tohoto pravidla při konzultaci. Některá pravidla při konzultaci tak nemusí být použita.

Výsledkem fuzzy inference je jazyková proměnná.

### 8.3 AGREGACE

Agregace je složení fuzzy množin, tedy výsledných sukcedentů pravidel do jedné fuzzy množiny.

## 8.4 DEFUZZIFIKACE

Defuzzifikace je transformování agregované fuzzy množiny na reálné číslo, ostrou hodnotu. Mezi takové metody používané k defuzzifikaci patří metoda středu plochy – těžiště ( COA), metoda středu součtů ( COS ), metoda průměru středů (CAM), metoda středu maxima ( MoM ), metoda prvního maxima ( FoM ), přičemž mezi nejčastěji používané patří metoda těžiště. [4]

### 8.4.1 Metoda středu plochy – těžiště ( COA )

Je jedna z nejpoužívanějších metod. Hodnota výstupní veličiny se určí jako souřadnice těžiště vypočteného podle vzorce (12) pro spojitou výstupní veličinu, nebo podle (13) pro výstupní veličinu typu singleton.

$$y^* = \frac{\int y \cdot \mu_B(y) dy}{\int \mu_B(y) dy} \quad (12)$$

$$y^* = \frac{\sum_{j=1}^m y_j \cdot \mu_B(y_j)}{\sum_{j=1}^m \mu_B(y_j)} \quad (13)$$

Pro spojitý systém je uvedená metoda dosti výpočetně a časově náročná, jelikož nezohledňuje překrytí jednotlivých funkcí.

## 9. PETRIHO SÍTĚ

### 9.1 CHARAKTERISTIKA PETRIHO SÍTÍ

Petriho síť (dále jen PN) je matematickou reprezentací pro modelování a grafické zobrazení diskretních distribuovaných systémů. Tyto systémy graficky reprezentuje jako orientovaný graf s ohodnocením.

PN umožňuje v systému modelovat cyklické děje a také paralelismy, což jsou dva děje běžící závisle či nezávisle na sobě.

Obecně můžeme matematicky strukturu Petriho sítě definovat jako uspořádanou čtveřici  $\langle P, T, D, I, O \rangle$ , kde: [9]

- $P$  je konečná množina všech míst
- $T$  je konečná množina všech přechodů
- $I$  je vstupní funkce
- $O$  je výstupní funkce

Dále platí, že  $P \cap T = \emptyset$  a také že  $I, O, H$  jsou zobrazení typu  $T \rightarrow P_{MS}$ .

Petriho síť má několik typů:

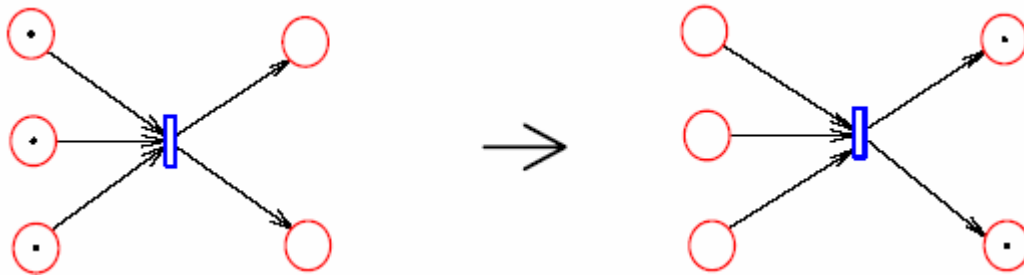
- $C/E$  (Condition/Event) Petriho síť
- $P/T$  (Place/Transitions) Petriho síť
- $TPN$  (Timed) Petriho síť
- $CPN$  (Coloured) Petriho síť
- $HPN$  (Hierarchical) Petriho síť
- $FPN$  (Fuzzy) Petriho síť
- a další

## 9.2 C/E PETRIHO SÍTĚ

Tento typ PN je zadán těmito údaji:

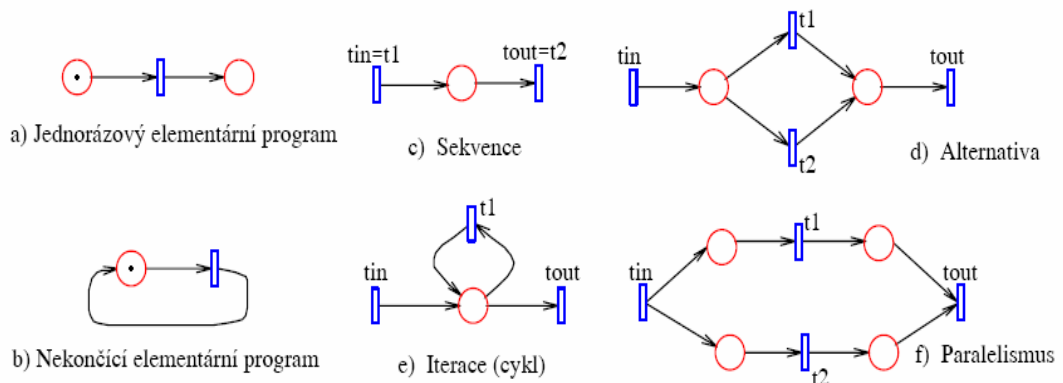
- Podmínkami - zobrazovanými kroužky
- Událostmi – zobrazovanými obdélníky nebo vertikální čarou
- Tokeny – zobrazovanými tečkami v kroužcích podmínek
- Orientovanými hranami – zobrazenými šipkami

Při změně stavu tohoto systému dochází k uskutečňování událostí. Na Obrázku č. 15 můžeme vidět, jak je zobrazena změna v jednoduchém systému.



Obrázek č.15: Změna stavu při provedení události [9]

Na Obrázku č. 16 můžeme vidět elementární programy využívané v modelování PN.



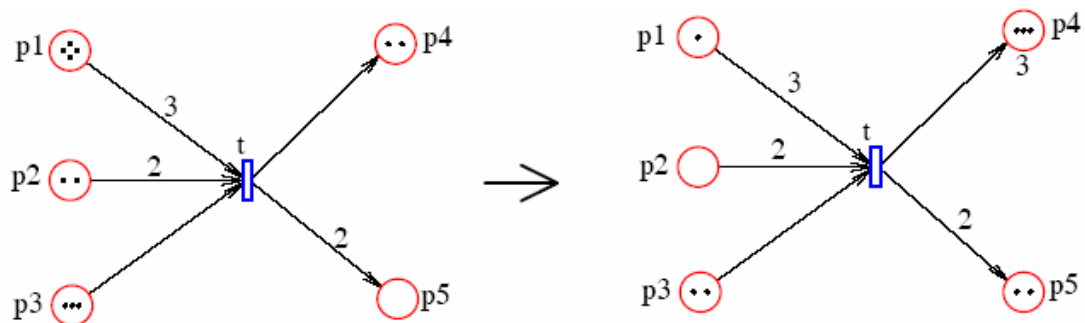
Obrázek č. 16: Elementární programy v C/E Petriho síti [9]

### 9.3 P/T PETRIHO SÍŤ

P/T Petriho síť je zadána následujícími údaji:

- Místa – zobrazovanými kroužky
- Přechody - zobrazovanými obdélníky nebo vertikální čarou
- Orientovanými hranami – zobrazenými šipkami
- Kapacitou každého místa – přirozené číslo udávající maximální počet tokenů nacházejících se v jednom místě
- Váhou hrany – přirozené číslo udávající násobnost hrany
- Počáteční značení – udává počet tokenů pro každé místo v síti

Na Obrázku č. 17 můžeme vidět změnu stavu sítě při provedení proveditelného přechodu.



Obrázek č.17: Změna stavu při provedení události [9]

Na Obrázku č.17 je vidět jak se mění počet tokenů v každém místě při provedení události. Obecně platí, že se při provádění události odebere takový počet tokenů z míst před přechodem, jaká je násobnost hrany směřující od místa do přechodu a naopak tolik tokenů se přidá do míst za tímto přechodem jaká je násobnost hrany směřující od přechodu do tohoto místa.

#### 9.4 FUZZY PETRIHO SÍŤ

Fuzzy PN ( dále FPN ) se využívají pro reprezentaci fuzzy produkčních pravidel v pravidlových systémech. Je odvozena od obecné PN a matematicky ji můžeme popsat takto: [10]

$$FPN = \langle P, T, D, I, O, f, \alpha, \beta \rangle$$

kde:

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  je konečná množina všech míst
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  je konečná množina všech přechodů
- $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$  je konečná množina tvrzení
- $I : T \rightarrow P^\infty$  je vstupní funkce
- $O : T \rightarrow P^\infty$  je výstupní funkce
- $f : T \rightarrow [0,1]$  je asociativní funkce mapující hodnotu přechodu na interval  $[0, 1]$
- $\alpha : T \rightarrow [0,1]$  je asociativní funkce mapující hodnotu místa na interval  $[0, 1]$
- $\beta : T \rightarrow D$  je asociativní funkce mapující hodnotu místa na množinu tvrzení

Pro takto zadanou FPN musí dále platit:

$$P \cap T \cap D = 0$$

$$|P| = |D|$$

V našem případě bude hodnota  $\beta$  reprezentovat slovní hodnotu fuzzy výroků ( např.: velmi horký, teplý, studený, malý, atd. ).

Jako jednoduchý příklad můžeme uvést modelování pravidla:

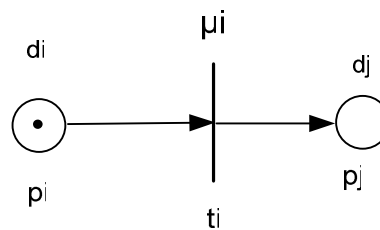
**Ri: If  $d_i$  Then  $d_j$  ( CF =  $\mu_i$  )**



Kde  $CF$  je činitel jistoty reprezentující míru důvěry v platnost pravidla. Může nabývat hodnot z intervalu od 0 do 1. Hodnota  $CF = 1$  znamená, že pravidlo zaručeně platí, zatímco  $CF = 0$  znamená, že pravidlo zaručeně neplatí.

V tomto případě je místo  $p_i$  počáteční místo a  $p_j$  koncové místo. Hodnota tvrzení  $d_j$  je dána uživatelem a její velikost  $y_s \in [0,1]$ .

Výsledný model takového systému můžeme vidět na Obrázku č. 18.



Obrázek č. 18: Model PN jednoduchého pravidla

Matematický zápis takové  $FPN = \langle P, T, D, I, O, f, \alpha, \beta \rangle$  potom bude:

$$P = \{p_i, p_j\}$$

$$T = \{t_i\}$$

$$D = \{d_i, d_j\}$$

$$I(t_i) = \{p_i\}, O(t_i) = \{p_j\}, f(t_i) = \mu_i$$

$$\alpha(p_i) = \mu_i, \alpha(p_j) = 0$$

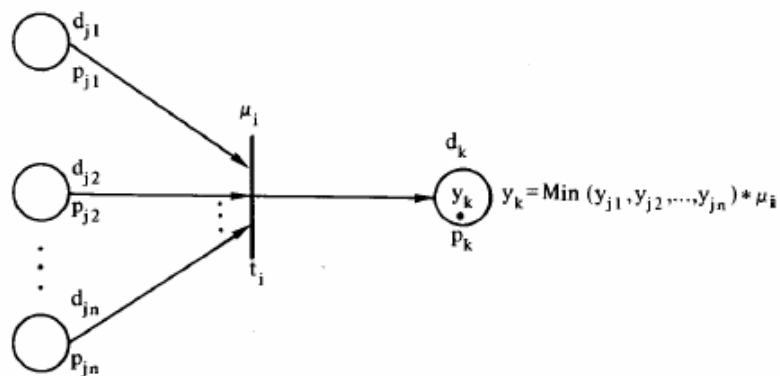
$$\beta(p_i) = \{d_i\}, \beta(p_j) = \{d_j\}$$

FPN s místy, která obsahují tokeny nazýváme značenou fuzzy petriho sítí. Token je značen stejně jako v klasických PN značen černým plným kruhem uvnitř místa a reprezentuje hodnotu tohoto místa  $\alpha(p_i)$ . Místo je přitom proveditelné (respektive jeho přechod odhalitelný) tehdy, pokud takový token obsahuje.

### 9.4.1 Modelování základních typů fuzzy pravidel

Pokud se v antecedentu nebo konsekventu fuzzy pravidel vyskytují logické spojky AND nebo OR, mluvíme o složených výrocích a také k nim tak přistupujeme při jejich modelování pomocí FPN. Takto nám vzniknou čtyři skupiny výroků, pro které platí určitá pravidla. [10]

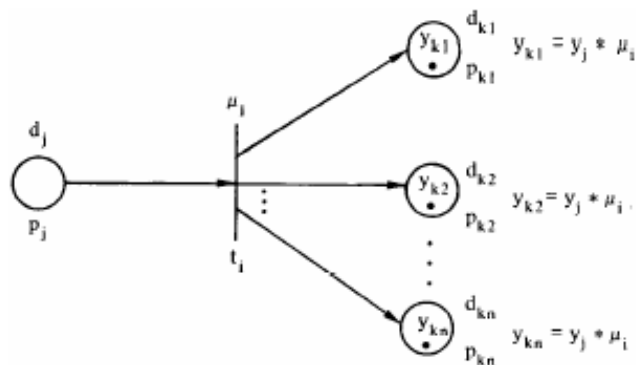
$$R_1: \text{IF } d_{j1} \text{ AND } d_{j2} \text{ AND } \dots d_{jn} \text{ THEN } d_k \text{ ( CF } = \mu_i \text{ )}$$



Obrázek č.19: Model FPN pro pravidlo  $R_1$  [10]

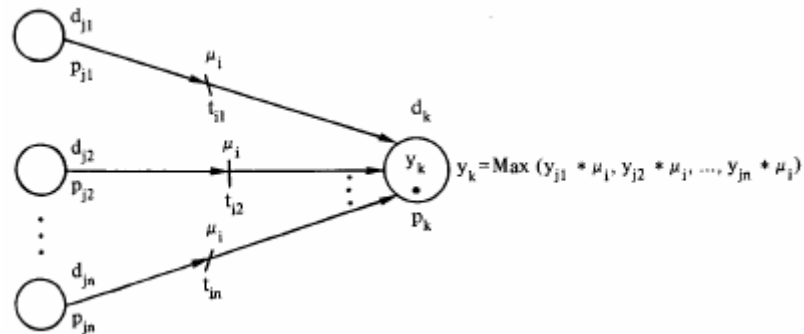
Na Obrázku č.19 je vidět FPN model pro pravidlo  $R_1$ . Je znázorněn po provedení událostí  $p_j$ , proto je vidět token v místě  $p_k$ . Celková hodnota výstupu je dána  $t$  – normou jak je patrné z obrázku.

$$R_2: \text{IF } d_j \text{ THEN } d_{k1} \text{ AND } d_{k2} \dots d_{kn} \text{ ( CF } = \mu_i \text{ )}$$



Obrázek č.20: Model FPN pro pravidlo  $R_2$  [10]

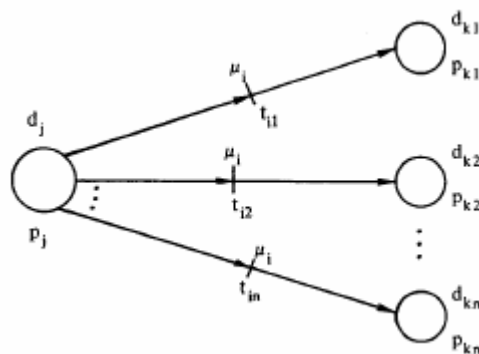
$R_3$ : IF  $d_{j1}$  OR  $d_{j2}$  OR ...  $d_{jn}$  THEN  $d_k$  ( CF =  $\mu_i$  )



Obrázek č.21: Model FPN pro pravidlo  $R_3$  [10]

Obrázek č.21 znázorňuje model FPN pro pravidlo  $R_3$ . Hodnota výstupu  $y_k$  je dána s – normou. Token v místě  $y_k$  značí, že model je znázorněn po vykonání pravidel  $d_{j1}$  až  $d_{jn}$ .

$R_4$ : IF  $d_j$  THEN  $d_{k1}$  OR  $d_{k2}$  ...  $d_{kn}$  ( CF =  $\mu_i$  )



Obrázek č.22: Model FPN pro pravidlo  $R_4$  [10]

Na Obrázku č.22 je uveden FPN model pro pravidlo  $R_4$ .

Aby mohlo dojít k tzv. odpálení přechodu, čili vykonání jednotlivých pravidel pomocí něj modelovaných je nutné, aby byly přítomny ve všech místech, která vedou do tohoto přechodu tokeny. Po odpálení tohoto přechodu tokeny přejdou do míst, která jsou pro daný přechod výstupní.

## 10. REPREZENTACE ZNALOSTÍ POMOCÍ FUZZY PETRIHO SÍTĚ

Jak již bylo dříve uvedeno, FPN mohou sloužit k reprezentaci znalostí ve znalostních systémech. Ve FES bývá báze znalostí vyjádřena fuzzy produkčními pravidly typu If – then. Tyto pravidla tvoří množinu  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$  a můžeme je graficky vyjádřit pomocí Fuzzy Petriho sítě. K takovému modelování fuzzy produkčních pravidel existují v podstatě dva přístupy.

Prvním je vyjádření tak jak již bylo uvedeno v kapitole 9.4, čili přesný matematický popis daných pravidel s následným grafickým znázorněním. Takové vyjádření v tomto textu budeme označovat Fuzzy Petriho sítě typu 1 ( FPN - 1 ).

Druhým přístupem je v podstatě pouhé grafické znázornění fuzzy produkčních pravidel. Takové vyjádření v tomto textu budeme označovat Fuzzy Petriho sítě typu 2 ( FPN - 2 ). [15]

### 10.1 FUZZY PETRIHO SÍTĚ TYPU 1

FPN - 1 pracují s fuzzy produkčními pravidly. Nabízí grafické zobrazení relací mezi jednotlivými pravidly pomocí míst a přechodů spolu s přesnou matematickou definicí chování takové sítě. FPN - 1 se řídí pomocí pravidel uvedených v kapitole [9.4.1](#).

Jejich konstrukce se dá popsat třemi množinami: [14]

- $IRS(p_i)$  – množina výstupních míst pro přechody, jejichž vstupem je hrana směřující z místa  $p_i$  (množina okamžité dosažitelnosti)
- $RS(p_i)$  – množina všech míst v dané FPN, která můžeme dosáhnout z místa  $p_i$  (množina dosažitelnosti)
- $AP_{ik}$  – množina míst  $p_k$ , jejichž výstupním místem je místo  $p_j$ ,

Tyto množiny popisují konstrukci FPN - 1 a slouží pro naši přehlednost o této síti. V podstatě popisují možnou cestu tokenu v FPN – 1.

K popisu FPN - 1 můžeme navíc použít množinu startovních míst – místa, jejichž hodnota je daná předem z uživateli odpovědi, či z nějaké databáze. Další množinou míst je množina cílových míst, jejichž hodnota je nám neznámá a chceme ji získat. Navíc ke každé množině  $AP_{ik}$  by mělo být uvedeno jaké logické spojení je mezi místy z této množiny míst.

### **10.1.1 Algoritmus tvorby množin dosažitelnosti $RS(p)$ a $IRS(p)$**

Pro množiny dosažitelnosti  $RS(p)$  a  $IRS(p)$  platí:  $IRS(p) \subset RS(p)$ .

Algoritmus tvorby množiny dosažitelnosti  $RS(p)$  a  $IRS(p)$  spočívá v několika opakujících se krocích : [14]

#### **1.krok**

Tento krok se provádí pro všechna vstupní místa FPN.

Jestliže pravidlo  $R_i$  z báze znalostí má tvrzení  $d_i$  asociované s místem  $p_i \in P$  jako jeho antecedent, potom vložíme místa modelující jeho konsekventy do množiny  $IRS(p_i)$  a do množiny  $RS(p_i)$ . Jinak  $IRS(p_i) = 0$  a  $RS(p_i) = 0$ .

#### **2. krok**

Pro každé místo  $p_k \in IRS(p_i)$ :

Jestliže existuje  $IRS(p_k)$  potom všechna místa z této množiny vložíme do množiny  $RS(p_i)$ .

#### **3. krok**

Pro každé místo  $p_j \in RS(p_i)$  vyjma  $p_j \in IRS(p_i)$ :

Jestliže existuje  $IRS(p_j)$  potom všechna místa z této množiny vložíme do množiny  $RS(p_i)$ .

Opakujeme 2. krok a 3. krok pro všechna místa  $p \in RS(p_i)$ .

#### 4. krok

Ukončíme algoritmus tvorby množiny  $RS(p)$ .

#### 10.1.2 Algoritmus tvorby množiny míst $AP_{ik}$

Stejně jako předchozí algoritmy, je i tento algoritmus cyklický a spočívá v opakování jednotlivých kroků: [14]

##### 1.krok

Pro místo  $p_i \in P$ :

Jestliže nějaké pravidlo  $R_i$  modelované pomocí místa  $p_i$  jako jeden z jeho antecedentů, pak ostatní místa modelující další antecedenty tohoto pravidla vložíme do množiny  $AP_{ik}$ .

Jinak  $AP_{ik} = 0$ .

Opakujeme 1. krok pro všechna  $p \in P$ .

##### 2. krok

Ukončíme algoritmus tvorby množiny  $AP_{ik}$ .

#### 10.1.3 Algoritmus rozhodování ve Fuzzy Petriho síti typu 1

Tento algoritmus slouží pro odvození vztahů mezi jednotlivými místy a hlavně tedy k určení výsledné pravdivostní hodnoty cílového místa. Ke své činnosti přitom využívá algoritmy pro tvorbu množin  $RS(p)$ ,  $IRS(p)$  a  $AP_{ik}$  a pravidla pro modelování pomocí FPN - 1. [14]

Algoritmus rozhodování v FPN - 1 vychází z výše uvedených algoritmů

1. Provedeme algoritmus pro vytvoření množin  $RS$  pro každé místo

$$z P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}.$$

2. Provedeme algoritmus pro vytvoření množiny sousedních míst  $AP_{ik}$  pro každé místo z  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ .
3. Sestavíme množinu  $IRS(p)$  pro každé místo z  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$
4. Pro každé neprovedené místo  $p_i \in P$

a) Pokud je místo  $p_i$  místem vstupním a jeho hodnota je stále implicitní (např. NULL), pak požádáme uživatele o vložení hodnoty tohoto místa (položení otázky a následná fuzzifikace odpovědi). Pokud  $y_i \geq \lambda$  pak  $\alpha(p_i) = y_i$ , jinak  $\alpha(p_i) = 0$ .

b) Pokud místo  $p_i$  není místem vstupním, pak pro všechna místa  $p_k \in IRS(p_i)$ :

pokud  $IRS(p_i) = 0$ , pak místo  $p_i$  označíme jako provedené.

jinak vytvoříme množinu sousedních míst  $AP_{ik}$ :

jestliže  $AP_{ik} = 0$  a  $\alpha(p_i) \geq \lambda_i$  pak  

$$\alpha(p_k) = \alpha(p_i) * \mu_i$$

pokud  $AP_{ik} = \{q_1, q_2, \dots, q_l\}$ , kde  $q_1$  až  $q_l$  představují místa, jejichž výstupem je místo  $p_k$ . Pokud pravdivostní hodnota je stále implicitní (null), pak její hodnotu získáme z uživateli odpovědi  $(y_1, y_2, \dots, y_l)$ .

Jestliže spojení mezi jednotlivými místy z  $AP_{ik}$ , a místem  $p_k$  má formu logického spojení AND, pak  $g = \min(\alpha(p_i), y_1, y_2, \dots, y_l)$  - hledáme minimální hodnotu z hodnot vstupních míst pro místo  $p_k$ .

Jestliže spojení mezi jednotlivými místy z  $AP_{ik}$ , a místem  $p_k$  má formu logického spojení OR, pak  $g = \max(\alpha(p_i), y_1, y_2, \dots, y_l)$  - hledáme maximální hodnotu z hodnot vstupních míst pro místo  $p_k$ .



Pokud  $g \geq \lambda_k$  pak  $\alpha(p_k) = g * \mu_i$  kde  $\mu_i = CF_i$ .

Jinak  $\alpha(p_k) = 0$ .

5. Najdeme maximální hodnotu pro každé místo z množiny výstupních míst.
6. Ukončíme algoritmus.

### 10.1.4Příklad Fuzzy Petriho sítě typu 1

Mějme pravidla  $R1, R2, R3, R4, R5$  :

$R1$ : **If**  $d_1$  **Then**  $d_2$  (  $CF = 0,9$  )

$R2$ : **If**  $d_2$  **AND**  $d_3$  **Then**  $d_4$  (  $CF = 0,9$  )

$R3$ : **If**  $d_4$  **Then**  $d_5$  (  $CF = 0,95$  )

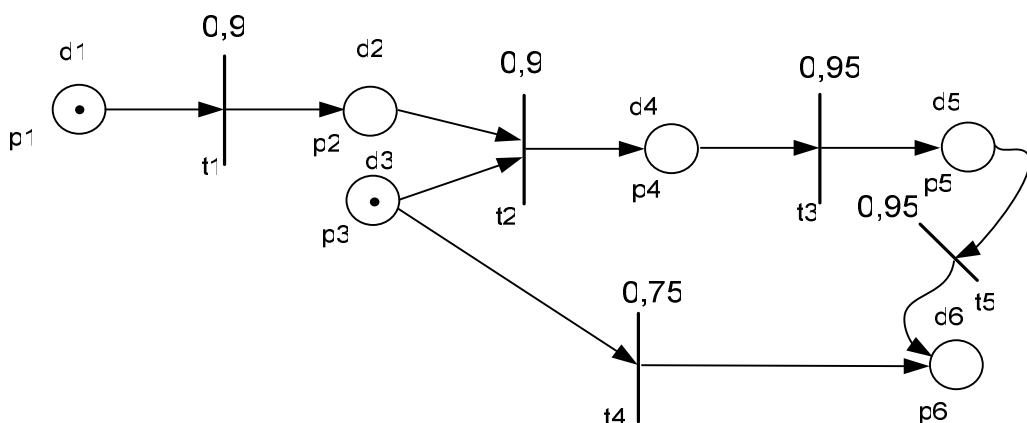
$R4$ : **If**  $d_5$  **Then**  $d_6$  (  $CF = 0,95$  )

$R5$ : **If**  $d_3$  **Then**  $d_6$  (  $CF = 0,75$  )

Hodnota vstupního místa  $p_1$  a  $p_3$  je dána uživatelem  $\alpha(p_1) = 0,8$ ,  $\alpha(p_3) = 0,6$  .

Výstupní místo je v tomto příkladě  $p_6$ .

Pravidla můžeme modelovat pomocí FPN - 1. Tento model vidíme na Obrázku č. 23.



Obrázek č.23: Model FPN - 1 pro pravidla  $R1, R2, R3, R4, R5$

V Tabulce č.2 můžeme vidět množiny  $IRS(p)$ ,  $RS(p)$  a  $AP_{ik}$  pro všechna místa navržené FPN - 1. Tabulka byla vytvořena pomocí algoritmů uvedených v kapitole [10.1.1](#) a kapitole [10.1.2](#).

**Postup pro vytvoření množin  $IRS(p)$  a  $RS(p)$ :**

Vstupními místy jsou místa  $p_1$  a  $p_3$ . Jsou antecedenty pravidel  $R1$  respektive  $R2$  a  $R5$ .

Začneme místem  $p_1$ .

1. Místo asociované s konsekventem pravidla  $R1$  vložíme do množiny  $RS(p_1)$  a  $IRS(p_1)$ . V našem případě  $p_2 \in IRS(p_1)$ .
2. Všechna místa z množiny  $IRS(p_2)$  vložíme do množiny  $RS(p_1)$  a  $RS(p_2)$ . V našem případě  $p_4 \in IRS(p_2)$ .
3. Všechna místa z množiny  $IRS(p_4)$  vložíme do množiny  $RS(p_1)$ ,  $RS(p_2)$  a  $RS(p_4)$ . V našem případě  $p_5 \in IRS(p_4)$ .
4. Všechna místa z množiny  $IRS(p_5)$  vložíme do množiny  $RS(p_1)$ ,  $RS(p_2)$ ,  $RS(p_4)$  a  $RS(p_5)$ . V našem případě  $p_6 \in IRS(p_5)$ .

Další postup pro místo  $p_3$ .

5. Místo asociované s konsekventem pravidla  $R2$  a  $R3$  vložíme do množiny  $RS(p_3)$  a  $IRS(p_3)$ . V našem případě  $p_4, p_6 \in IRS(p_3)$ .
6. Všechna místa z množiny  $IRS(p_4)$  a  $IRS(p_6)$  vložíme do množiny  $RS(p_3)$ . V našem případě  $IRS(p_6) = 0$  a  $p_5 \in IRS(p_4)$ .
7. Všechna místa z množiny  $IRS(p_5)$  vložíme do množiny  $RS(p_3)$ . V našem případě  $p_6 \in IRS(p_5)$ .

Postup pro vytvoření množiny  $AP_{ik}(p)$  je v tomto případě jednodušší. V podstatě hledáme cyklicky pro každé místo jeho sousední místa, čili antecedenty společných pravidel.

1. Začneme pravidlem  $R_1$ . Jeho antecedent je modelován jedním místem  $p_1$ .  
Čili  $AP_{ik}(p_1) = 0$ .
2. Pravidlo  $R_2$  má dva antecedenty modelované místy  $p_2$  a  $p_3$ :  
 $p_2 \in AP_{jk}(p_3), p_3 \in AP_{jk}(p_2)$ .
3. Zbývající pravidla mají vždy po jednom antecedentu:  $AP_{ik}(p_4) = 0, AP_{ik}(p_5) = 0, AP_{ik}(p_6) = 0$ .

Tabulka č.2: Tabulka množin dosažitelnosti

$p_i \in P$	$IRS(p_i)$	$RS(p_i)$	$AP_{ik}(p)$	log. spojení
$p_1$	$p_2$	$p_2, p_4, p_5, p_6$	0	-
$p_2$	$p_4$	$p_4, p_5, p_6$	$p_3$	AND
$p_3$	$p_4, p_6$	$p_4, p_5, p_6$	$p_2$	AND
$p_4$	$p_5$	$p_5, p_6$	0	-
$p_5$	$p_6$	$p_6$	0	-
$p_6$	0	0	0	-

### Proces rozhodování v navržené FPN - 1

1. Začneme od vstupního místa  $p_1$ , respektive  $p_3$ . Jejich vstupní hodnoty jsou dané uživatelem:  $\alpha(p_1) = y_1$  a  $\alpha(p_3) = y_3$ . Platí  $p_2 \in IRS(p_1)$  a  $\alpha(p_2) = \alpha(p_1) \cdot 0,9$ .
2. Jelikož platí  $p_3 \in AP_{ik}(p_2)$  pak pro místo  $p_4 \in IRS(p_2) \cap IRS(p_3)$  platí, že jeho hodnota  $y_4 = \min(y_2, y_3) \cdot 0,95$ .
3. Z množiny  $IRS(p_4)$  vybereme další místo. V tomto případě  $p_5$ . Jelikož  $AP_{ik} = 0$ , potom pro hodnotu místa  $p_5$  platí:  $\alpha(p_5) = \alpha(p_4) \cdot 0,95$ .

Množina  $IRS(p_4)$  má pouze jediný prvek:  $p_5$ . Pokračujeme dále s prvky  $IRS(p_5)$ .

4. Místo  $p_6$  je cílovým místem a patří současně do množiny  $IRS(p_5)$  a  $IRS(p_3)$ . Jeho hodnota je tedy dána:  $\max(y_3 \cdot 0,75, y_5 \cdot 0,95)$ .

Jak je vidět, do cílového místa se můžeme dostat dvěma způsoby, a to přes místa  $p_4, p_5$  a přes místo  $p_3$ . Z pravidel plyne, že FPN - 1 si vybere cestu, která má největší váhu a největší vliv na cílovou hypotézu, respektive pro jakou cestu nabývá cílové místo největší hodnoty.

## 10.2 FUZZY PETRIHO SÍTĚ TYPU 2

FPN - 2 slouží především pro grafickou simulaci produkčních pravidel. Tokeny představují nositel fuzzy množiny, hrany jsou ohodnoceny jazykovým výrazem a přechody představují relaci ve fuzzy produkčních pravidlech.

Pomocí FPN – 2 je možné vyjádřit například přehledně fuzzifikaci ve FES. Tedy ostré hodnoty uživateli odpovědi a její zařazení do jednotlivých fuzzy množin.

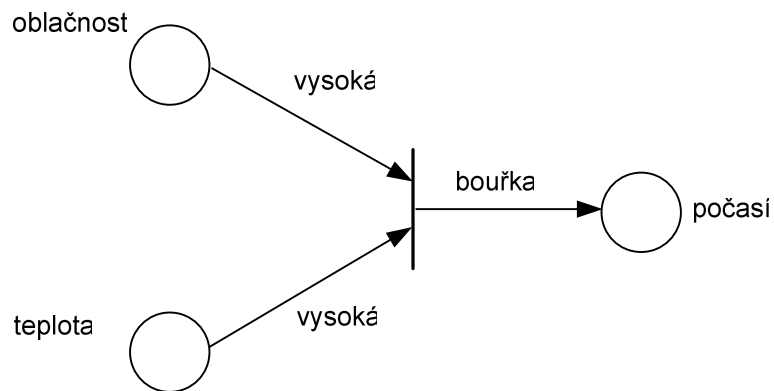
Jako příklad můžeme uvést modelování následujících fuzzy pravidel, která velmi zjednodušeně popisují počasí. [15]

*R1*: Jestliže oblačnost je **vysoká** a teplota **vysoká**, pak bude **bouřka**.

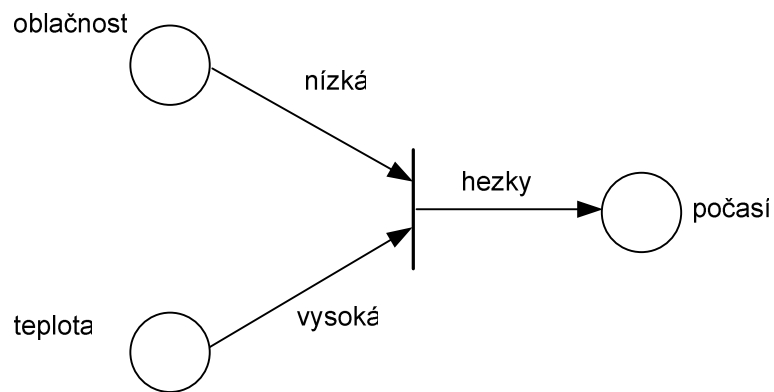
*R2*: Jestliže oblačnost je **nízká** a teplota **vysoká**, pak bude **hezky**.

*R3*: Jestliže oblačnost je **střední** a teplota **střední**, pak bude **deštivo**.

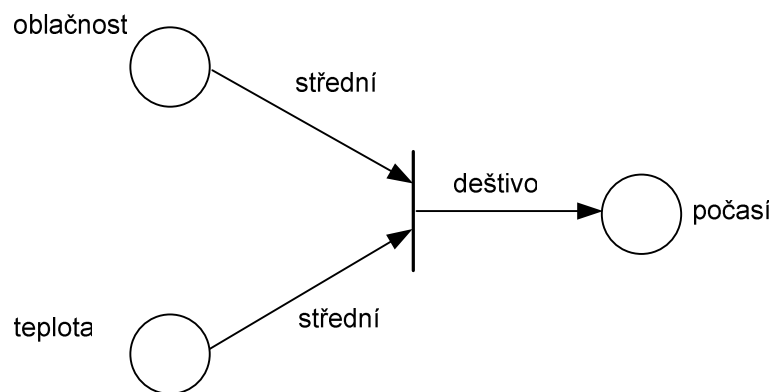
Nejdříve si namodelujeme pravidla samostatně a poté je spojíme do jednoho modelu popisujícího navržený fuzzy systém.



Obrázek č. 24: Model pravidla R1

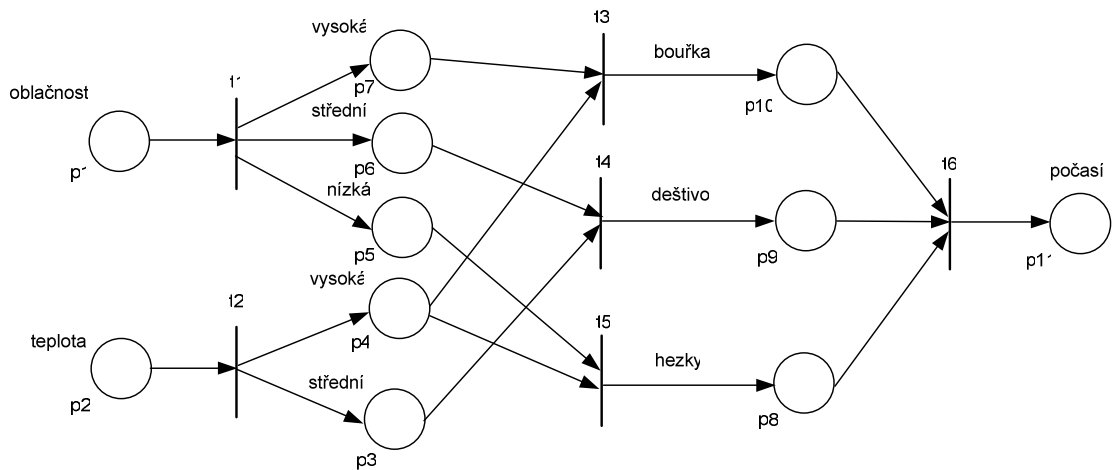


Obrázek č. 25: Model pravidla R2



Obrázek č. 26: Model pravidla R3

Na Obrázku č. 27 je uveden kompletní model pro všechna fuzzy produkční pravidla. Jedná se o přehledné znázornění, při jakých hodnotách vstupních veličin bude platná určitá hypotéza. Na tomto modelu je vidět fuzzifikace ostrých hodnot vstupních veličin. Například ostrá hodnota vstupní veličiny teplota je znázorněna místem  $p_1$ . Její fuzzifikací tedy dostáváme dvě nová místa znázorňující dvě fuzzy množiny ( *vysoká*, *střední* ). Opačná situace nastává u defuzzifikace, kdy výstupní fuzzy množiny jsou defuzzifikovány na výstupní ostrou hodnotu, která je znázorněna místem  $p_{11}$ .



Obrázek č. 27: Výsledný model pravidel  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$

## 11. FUZZY EXPERTNÍ SYSTÉM S BÁZÍ ZNALOSTÍ MODELOVANOU FUZZY PETRIHO SÍTÍ

### 11.1 NÁVRH FUZZY EXPERTNÍHO SYSTÉMU

Navržený FES slouží k optimálnímu výběru lyží pro zákazníka, který nemá velký přehled o trhu s lyžemi. Proto jsou otázky konzultace voleny obecně tak, aby na ně odpověděl i úplný začátečník.

Konzultace probíhá tak, že ES pokládá postupně uživateli otázky:

- Na jakém terénu budete po většinu času lyžovat?
  - možnost zvolení rozsahu upravenosti sjezdovky od 0 po 10, přičemž 0 odpovídá zcela neupravenému terénu, 10 odpovídá zcela upravenému terénu
- Jaká je vaše pokročilost?
  - možnost zvolení odpovědi v rozsahu 0 – 10, přičemž 0 odpovídá začátečníkovi, 10 – odpovídá vynikajícímu lyžaři
- Jakou rychlostí jezdíte?
  - možnost zvolení odpovědi v rozsahu 40 – 80 km/h

Tyto postupně kladené otázky poslouží ke zvolení jedné ze skupiny lyží ( S - slalomové, X - obřačky nebo C - skicrossové) nejvíce pro uživatele vhodných. Hodnota daných míst bude defuzzifikována a z těchto tří míst bude vybráno jediné – s největší hodnotou vhodnosti typu lyží.

Na konec konzultace je položena poslední otázka:

- Jakou cenu jste ochoten zaplatit za své lyže?
  - možnost zvolení odpovědi v rozsahu 8000 – 22000 Kč

Tato otázka je typu filtr. Podle ní jsou tedy vybrány pro uživatele lyže, které jsou z dané skupiny nejvhodnější a to z hlediska zejména ceny, kterou je ochoten zaplatit.

### 11.1.1 Vstupy a výstupy FES

Vstupy FES jsou:

- upravenost sjezdovky – v rozsahu 0 až 10
- cena lyží – v rozsahu 8000 až 22 000 Kč
- rychlost – v rozsahu 40 až 80 kilometrů v hodině
- pokročilost lyžaře – v rozsahu 0 až 10

Výstupy FES jsou:

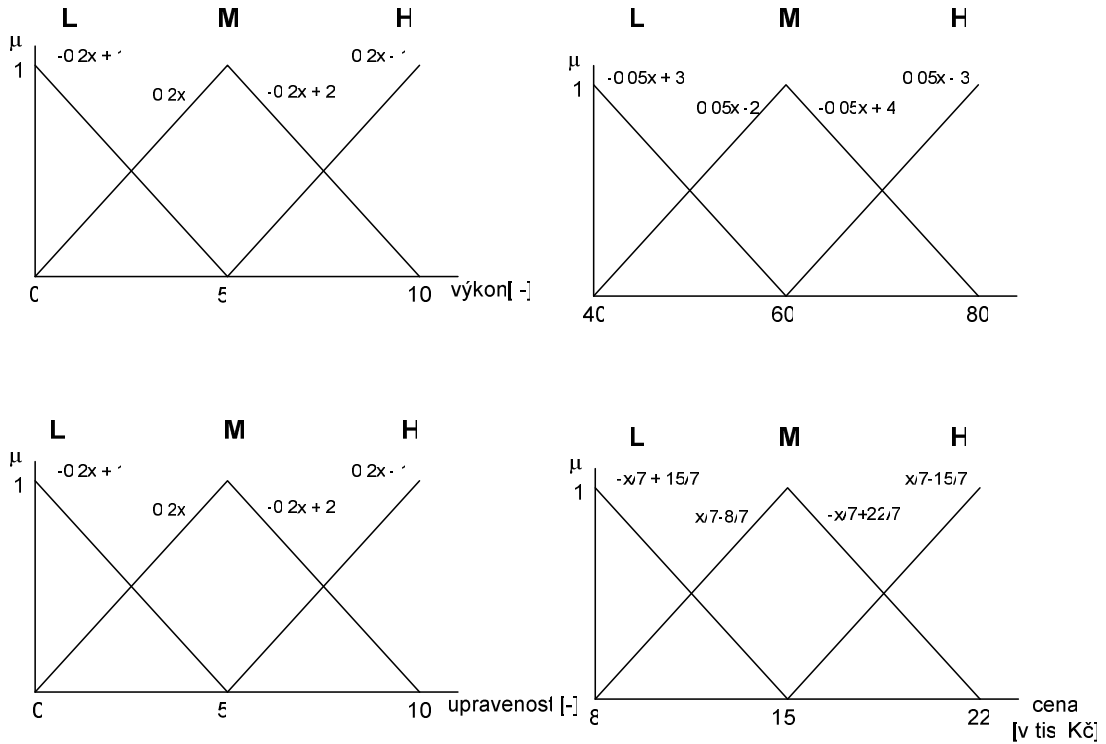
- Rossignol 8S Radical – slalomový typ lyží
- Rossignol 9S Radical – slalomový typ lyží
- Rossignol RS Racing – slalomový typ lyží
- Rossignol 8S – obřáčkový typ lyží
- Rossignol 9X – obřáčkový typ lyží
- Rossignol RSX Racing – obřáčkový typ lyží
- Rossignol XFight 1 TPI – scicrossový typ lyží
- Rossignol XFight 2 TPI – scicrossový typ lyží
- Rossignol XFight 3 TPI – scicrossový typ lyží

### 11.1.2 Fuzzifikace vstupů

Pro fuzzifikaci byly zvoleny tři fuzzy množiny: L – low, M – medium, H – high a tvar funkcí příslušnosti trojúhelníkový.

Na Obrázku č. 28 jsou vidět fuzzy množiny, do kterých budeme mapovat vstupní ostré hodnoty zadané během konzultace uživatelem.





Obrázek č.28: Fuzzifikace vstupních proměnných

### 11.1.3 Báze znalostí – Příklad 1 báze znalostí

Báze znalostí je tvořena pravidly typu IF – THEN, které popisují vztahy mezi jednotlivými vstupy a výstupními hypotézami, respektive mezilehlými hypotézami.

Tabulka č. 3: Pravidla vstupní proměnné pokročilost lyžaře

IF pokročilost	then		
	C	X	S
L	H	M	L
M	M	M	M
H	L	H	H

Tabulka č. 4: Pravidla vstupní proměnné rychlost lyžaře

IF rychlost	then		
	C	X	S
L	M	L	H
M	H	M	M
H	L	H	L

Tabulka č. 5: Pravidla vstupní proměnné upravenost sjezdovky

IF upravenost	then		
	C	X	S
L	L	L	L
M	M	M	M
H	H	H	H

Tabulka č. 6: Pravidla pro koncové modely lyží

IF cena	then								
	Xfight1	Xfight2	Xfight3	RSX	8X	9X	RS	8S	9S
L	L	M	H	H	M	L	H	M	L
M	M	H	M	M	H	M	M	H	M
H	H	M	L	L	M	H	L	M	H

#### 11.1.4 Báze znalostí – Příklad 2 báze znalostí

Tento příklad BZ slouží pro pozdější použití v programu, kde bude vidět, k jakým změnám hodnot míst ve FPN dojde, jestliže načteme BZ obsahující malé změny oproti předchozí BZ. V ostatním textu je odkazováno na BZ z Příkladu 1.

Tabulka č. 7: Pravidla vstupní proměnné pokročilost lyžaře

IF pokročilost	then		
	C	X	S
L	M	M	L
M	H	H	L
H	M	M	H

Tabulka č. 8: Pravidla vstupní proměnné rychlost lyžaře

IF rychlost	then		
	C	X	S
L	H	L	H
M	H	L	H
H	M	H	L

Tabulka č.9: Pravidla vstupní proměnné upravenost sjezdovky

IF upravenost	then		
	C	X	S
L	H	L	L
M	H	M	M
H	M	H	H

### 11.1.5 Konzultace

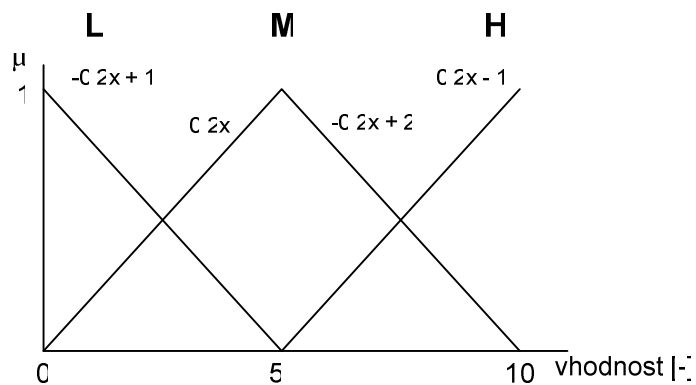
Konzultace u FES probíhá tak, že uživatel si vybírá z jemu nabídnutých hodnot ostrých hodnot pro danou proměnnou. Například při položení otázky: „Jakou rychlostí jezdíte?“, má uživatel na výběr z rozsahu hodnot od 20 až 80 km/h. Jeho vybraná hodnota ( např.  $r = 50$  km/h ) bude fuzzifikována a budou na ni uplatněna pravidla

z báze znalostí, která ovlivní mezilehlé hypotézy. Čili jaký typ lyží je pro daného uživatele nejvhodnější. Jakým způsobem bude vysvětleno později při popisu namodelování báze znalostí pomocí FPN.

Jako poslední je položena otázka: „Jakou cenu jste ochoten za své lyže zaplatit?“. Tato otázka slouží k výběru nejvhodnějších lyží pro uživatele z hlediska ceny a to pouze ze skupiny lyží pro uživatele nejvhodnějších.

### 11.1.6 Defuzzifikace výstupu

Defuzzifikace výstupů se provádí metodou COA, čili metodou těžiště ( viz.:[8.4.1](#) ). Na Obrázku č. 29 jsou znázorněny fuzzy množiny pro výstupní proměnnou vhodnost.

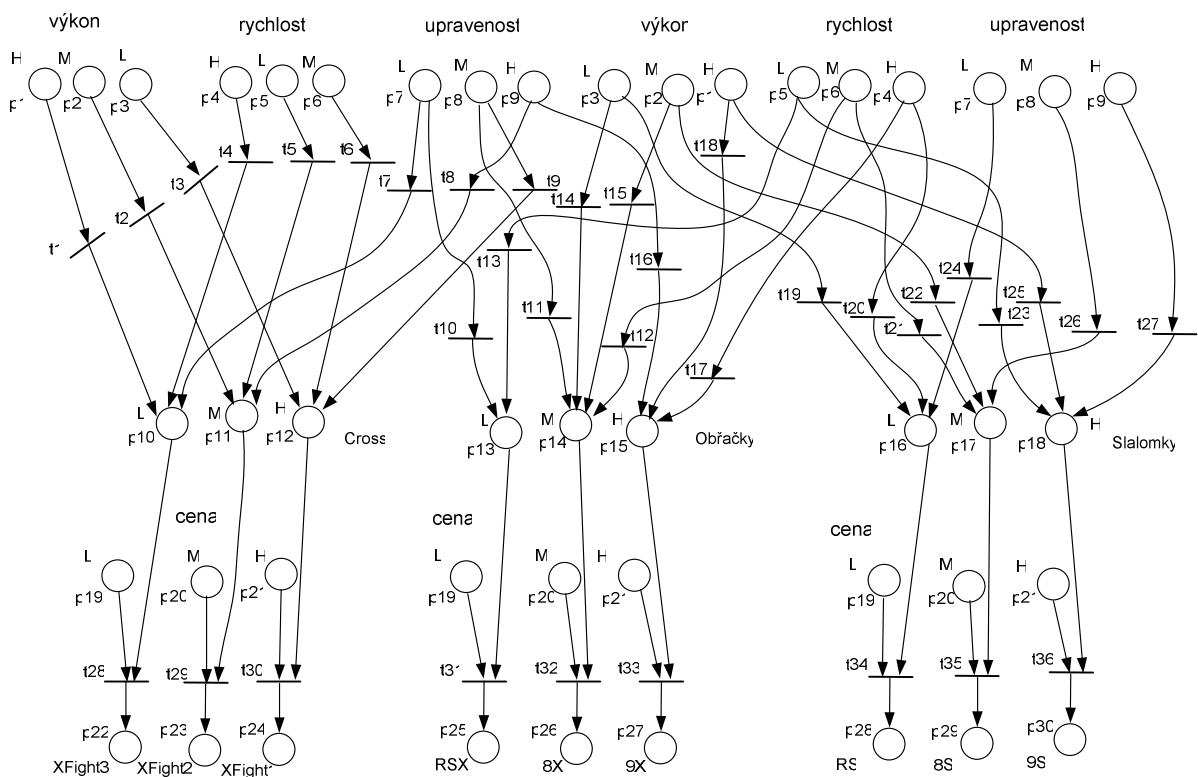


Obrázek č.29: Fuzzy množiny výstupní proměnné vhodnost

### 11.1.7 Modelování báze znalostí pomocí fuzzy Petriho sítě

K namodelování báze znalostí byla použita kombinace FPN – 1 a FPN - 2. Takto byla zajištěna přehlednost spolu s matematickým nástrojem pro vyhodnocení uživatelových odpovědí.

Pro porovnání je na Obrázku č. 30 model, který je namodelovaný pouze pomocí FPN - 1. Takto namodelovaná báze znalostí je pro nás prakticky nepoužitelná, jelikož pro určení hodnoty místa využívá pravidel FPN - 2 (viz.: 9.4.1). Tedy pokud má dané místo více vstupů, jeho hodnota je určena pouze jeho jedním vstupem a to podle toho, jaké je logické spojení mezi vstupy ( je vybrána maximální, či minimální hodnota ).



Obrázek č.30: Báze znalostí reprezentovaná FPN – 1

Model pro navržený fuzzy expertní systém je znázorněn na Obrázku č.31. V podstatě je tvořen třemi částmi.

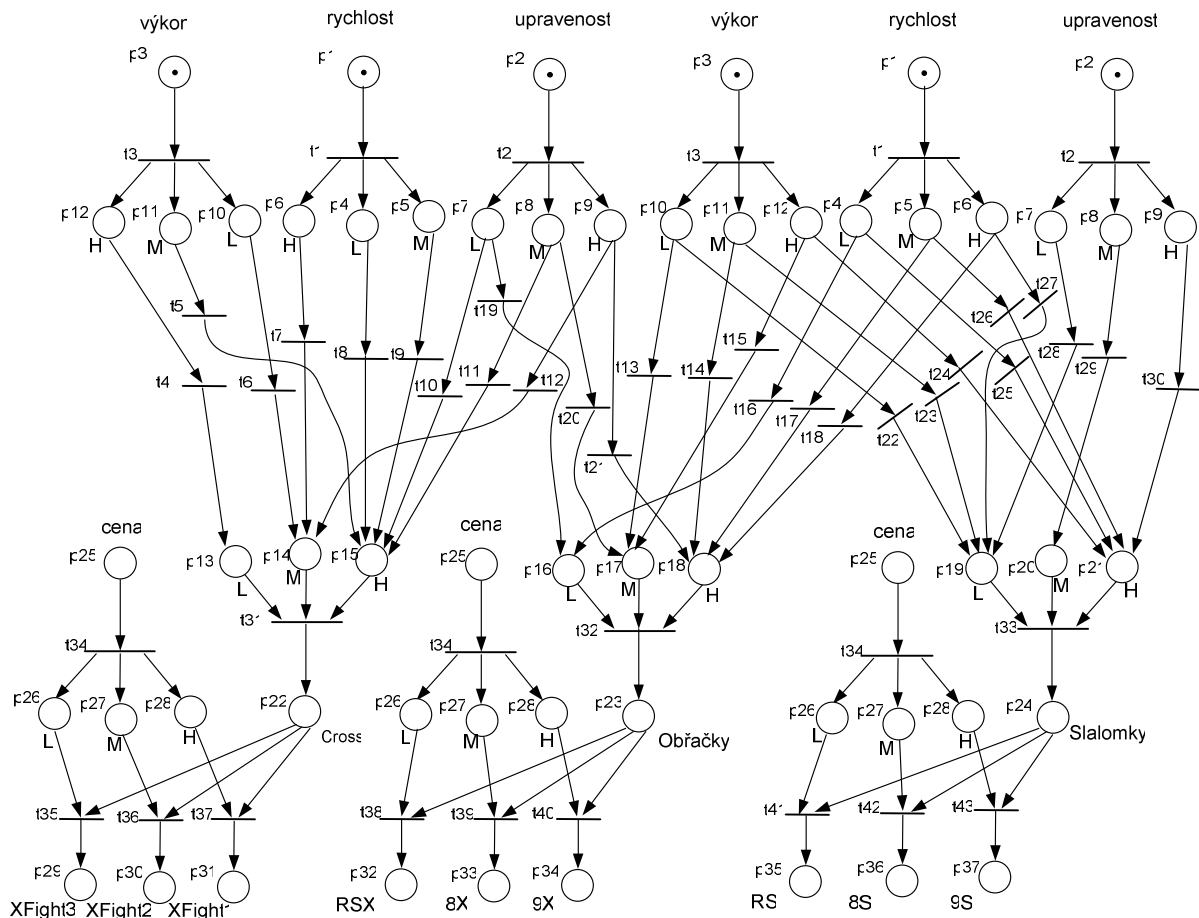
První část je tzv. vstupní úroveň, která je modelem FPN - 2. Znázorňuje fuzzifikaci ostrých uživatelských odpovědí do třech fuzzy množin ( L, M, H ). Vstupními místy jsou místa:  $p_1, p_2, p_3, p_{25}$ . Místa, jež leží o úroveň níže pak modelují jednotlivé fuzzy množiny. Jejich hodnota  $\alpha$  je dána hodnotou funkce příslušnosti ostré hodnoty uživateli odpovědi pro danou fuzzy množinu. Například pro ostrou hodnotu

výkon = 10, bude mít místo  $p_{12}$  modelující fuzzy množinu H hodnotu  $\alpha_{p_{12}} = 1$ , naopak místa  $p_{11}$ ,  $p_{10}$  modelující množiny M a L budou mít hodnotu  $\alpha_{p_{10}} = \alpha_{p_{11}} = 0$  ( viz. Obrázek č. 28 ).

Místa v úrovni místa  $p_{10}$  a o úroveň níže jsou pak modelována FPN – 1. Pro vyhodnocení takové sítě platí pravidla uvedená v kapitole 9.4.1.

Následně je znázorněna defuzzifikace pomocí FPN - 2. Takto je zjištěna vhodnost jednotlivých druhů lyží pro uživatele. Místo, jež má největší hodnotu ( 0 – 10 ) bude vlastnit token a následně tak může být odpálen některý z přechodů  $t_{35}$  až  $t_{43}$ .

Hodnoty přechodů v části BZ modelované FPN – 1 jsou nastaveny na hodnotu 0.95, zatímco v části BZ modelované FPN – 2 jsou nastaveny na hodnotu 1.



Obrázek č.31: Báze znalostí reprezentovaná kombinací FPN – 1 a FPN - 2

Výstupními místy navržené FPN jsou místa  $\{p_{29}, p_{30}, p_{31}, p_{32}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}, p_{37}\}$  modelující cílové hypotézy, čili konkrétní typy lyží.

V Tabulce č. 10 vidíme pro jednotlivá místa modelující navrženou bázi znalostí množiny míst a informace důležité pro navržený rozhodovací algoritmus: množina dosažitelných míst ( $RS$ ) pro dané místo, množina okamžitě dosažitelných míst ( $IRS$ ), množina sousedních míst – obsahuje místa, pro které je dané místo místem výstupním ( $AP$ ), dále informace o logickém spojení míst z množiny  $AP$  pro dané místo.

Tabulka č. 10: Popis navržené FPN

$p_i \in P$	$IRS(p_i)$	$RS(p_i)$	$AP_{ik}(p_i)$	log. operace
$p_1$	$p_4, p_5, p_6$	$p_4, p_5, p_6, p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}, p_{18}, p_{19}, p_{20}, p_{21}, p_{22}, p_{23}, p_{24}, p_{29}, p_{30}, p_{31}, p_{32}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}, p_{37}$	0	-
$p_2$	$p_7, p_8, p_9$	$p_4, p_5, p_6, p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}, p_{18}, p_{19}, p_{20}, p_{21}, p_{22}, p_{23}, p_{24}, p_{29}, p_{30}, p_{31}, p_{32}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}, p_{37}$	0	-
$p_3$	$p_{10}, p_{11}, p_{12}$	$p_4, p_5, p_6, p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{17}, p_{18}, p_{19}, p_{20}, p_{21}, p_{22}, p_{23}, p_{24}, p_{29}, p_{30}, p_{31}, p_{32}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}, p_{37}$	0	-
$p_4$	$p_{14}, p_{16}, p_{21}$	$p_{14}, p_{16}, p_{21}, p_{22}, p_{23}, p_{24}, p_{29}, p_{30}, p_{31}, p_{32}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}, p_{37}$	0	-
$p_5$	$p_{15}, p_{17}, p_{20}$	$p_{15}, p_{17}, p_{20}, p_{22}, p_{23}, p_{24}, p_{29}, p_{30}, p_{31}, p_{32}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}, p_{37}$	0	-
$p_6$	$p_{13}, p_{18}, p_{19}$	$p_{13}, p_{18}, p_{19}, p_{22}, p_{23}, p_{24}, p_{29}, p_{30}, p_{31}, p_{32}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}, p_{37}$	0	-
$p_7$	$p_{13}, p_{16}, p_{19}$	$p_{13}, p_{16}, p_{19}, p_{22}, p_{23}, p_{24}, p_{29}, p_{30}, p_{31}, p_{32}, p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}, p_{37}$	0	-

<i>p8</i>	<i>p15, p17, p20</i>	<i>p15, p17, p20, p22, p23, p24, p29, p30, p31, p32, p33, p34, p35, p36, p37</i>	0	-
<i>p9</i>	<i>p14, p18, p21</i>	<i>p14, p18, p21, p22, p23, p24, p29, p30, p31, p32, p33, p34, p35, p36, p37</i>	0	-
<i>p10</i>	<i>p15, p17, p19</i>	<i>p15, p17, p19, p22, p23, p24, p29, p30, p31, p32, p33, p34, p35, p36, p37</i>	0	-
<i>p11</i>	<i>p14, p17, p20</i>	<i>p14, p17, p20, p22, p23, p24, p29, p30, p31, p32, p33, p34, p35, p36, p37</i>	0	-
<i>p12</i>	<i>p13, p18, p21</i>	<i>p13, p18, p21, p22, p23, p24, p29, p30, p31, p32, p33, p34, p35, p36, p37</i>	0	-
<i>p13</i>	<i>p22</i>	<i>p22, p29, p30, p31</i>	<i>p6, p7, p12</i>	OR
<i>p14</i>	<i>p22</i>	<i>p22, p29, p30, p31</i>	<i>p4, p9, p11</i>	OR
<i>p15</i>	<i>p22</i>	<i>p22, p29, p30, p31</i>	<i>p5, p8, p10</i>	OR
<i>p16</i>	<i>p23</i>	<i>p23, p32, p33, p34</i>	<i>p4, p7</i>	OR
<i>p17</i>	<i>p23</i>	<i>p23, p32, p33, p34</i>	<i>p5, p8, p10, p11</i>	OR
<i>p18</i>	<i>p23</i>	<i>p23, p32, p33, p34</i>	<i>p6, p9, p12</i>	OR
<i>p19</i>	<i>p24</i>	<i>p24, p35, p36, p37</i>	<i>p6, p7, p10</i>	OR
<i>p20</i>	<i>p24</i>	<i>p24, p35, p36, p37</i>	<i>p5, p8, p11</i>	OR
<i>p21</i>	<i>p24</i>	<i>p24, p35, p36, p37</i>	<i>p4, p9, p12</i>	OR
<i>p22</i>	<i>p29, p30, p31</i>	<i>p29, p30, p31</i>	<i>p13, p14, p15</i>	AND
<i>p23</i>	<i>p32, p33, p34</i>	<i>p32, p33, p34</i>	<i>p16, p17, p18</i>	AND
<i>p24</i>	<i>p35, p36, p37</i>	<i>p35, p36, p37</i>	<i>p19, p20, p21</i>	AND
<i>p25</i>	<i>p26, p27, p28</i>	<i>p26, p27, p28, p29, p30, p31, p32, p33, p34, p35, p36, p37</i>	0	-
<i>p26</i>	<i>p29, p30, p31, p32, p33, p34, p35, p36, p37</i>	<i>p29, p30, p31, p32, p33, p34, p35, p36, p37</i>	0	-
<i>p27</i>	<i>p29, p30, p31, p32, p33, p34, p35, p36, p37</i>	<i>p29, p30, p31, p32, p33, p34, p35, p36, p37</i>	0	-



<i>p<sub>28</sub></i>	<i>p<sub>29</sub>, p<sub>30</sub>, p<sub>31</sub>, p<sub>32</sub>, p<sub>33</sub>, p<sub>34</sub>, p<sub>35</sub>, p<sub>36</sub>, p<sub>37</sub></i>	<i>p<sub>29</sub>, p<sub>30</sub>, p<sub>31</sub>, p<sub>32</sub>, p<sub>33</sub>, p<sub>34</sub>, p<sub>35</sub>, p<sub>36</sub>, p<sub>37</sub></i>	0	-
<i>p<sub>29</sub></i>	0	0	<i>p<sub>22</sub>, p<sub>26</sub></i>	AND
<i>p<sub>30</sub></i>	0	0	<i>p<sub>22</sub>, p<sub>27</sub></i>	AND
<i>p<sub>31</sub></i>	0	0	<i>p<sub>22</sub>, p<sub>28</sub></i>	AND
<i>p<sub>32</sub></i>	0	0	<i>p<sub>23</sub>, p<sub>26</sub></i>	AND
<i>p<sub>33</sub></i>	0	0	<i>p<sub>23</sub>, p<sub>27</sub></i>	AND
<i>p<sub>34</sub></i>	0	0	<i>p<sub>23</sub>, p<sub>28</sub></i>	AND
<i>p<sub>35</sub></i>	0	0	<i>p<sub>24</sub>, p<sub>28</sub></i>	AND
<i>p<sub>36</sub></i>	0	0	<i>p<sub>24</sub>, p<sub>27</sub></i>	AND
<i>p<sub>37</sub></i>	0	0	<i>p<sub>24</sub>, p<sub>28</sub></i>	AND

## 11.2 PROGRAMOVÁ REALIZACE FUZZY EXPERTNÍHO SYSTÉMU

Navržený fuzzy expertní systém je realizován v programovém prostředí Microsoft Visual Studio 2008 pomocí programovacího jazyka C#. Jeho název je FES 1.0

FES 1.0 pracuje nad bází znalostí navrženou v kombinaci FPN – 1 a FPN - 2, jak je uvedena na Obrázku č.30, přičemž fuzzifikaci má implicitně pevně nastavenou (viz.: [11.1.2](#) ). Uživatel si může zvolit sám pouze část báze znalostí uloženou v souboru formátu xml a to konkrétně část báze znalostí, která je modelovaná FPN -1.

Zjištění hodnoty funkcí příslušnosti (fuzzifikace odpovědí ) bylo zajištěno tak, že byly použity rovnice přímek tvořící jednotlivá ramena trojúhelníků ohraničujících jednotlivé fuzzy množiny. Do těchto rovnic pak byla dosazena hodnota získaná z konzultace. Takto jsou určeny hodnoty funkcí příslušnosti pro všechny vstupní fuzzy množiny.

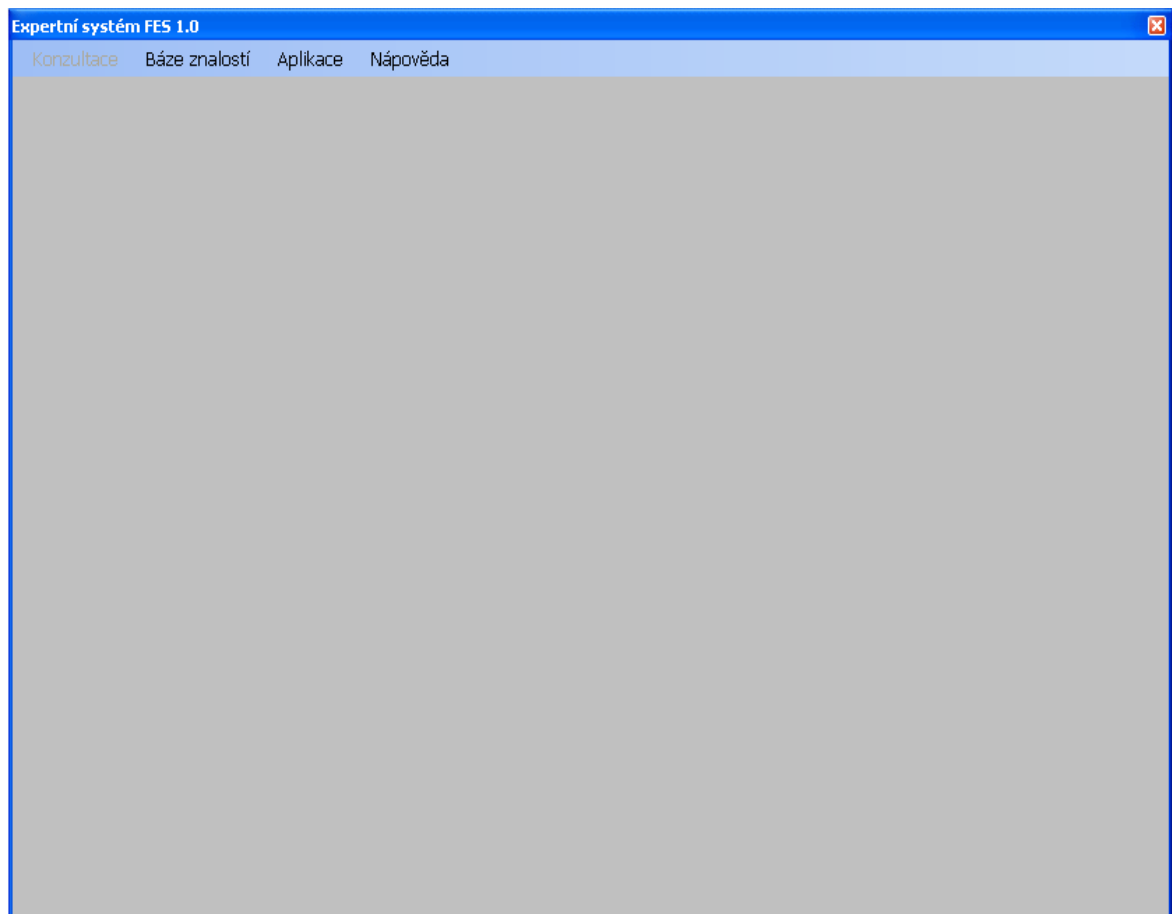
Soubor XML obsahuje definici množin  $AP_{ik} ( p_i )$  pro místa:  $p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}, p_{18}, p_{19}, p_{20}, p_{21}$ . V ES je tento soubor prezentován jako báze znalostí. V kontextu navržené báze znalostí se jedná pouze o její část, která však má rozhodující vliv na to, ze které skupiny lyží bude vybrán model pro uživatele nejlepší. Tato báze znalostí popisuje pravidla IF – then uvedená v Tabulce č. 3, Tabulce č. 4 a Tabulce č. 5.

Pravidla mezi vstupní proměnnou cena a výstupními proměnnými, které tvoří dané modely lyží jsou nastavena implicitně, jelikož cílové hypotézy tvoří tři modely lyží od každého typu lyží, u kterých jejich vzájemný cenový vztah bude neměnný.

## 12. EXPERTNÍ SYSTÉM FES 1.0

ES FES 1.0 je plně funkční software, který je v souladu s tradiční koncepcí diagnostického ES. Před prvním spuštěním je nutné se ujistit, aby byl program správně umístěn a to ve složce *C:/FES*.

Okno FES 1.0 vidíme na Obrázku č.32 a skládá se z plochy, na niž se zobrazují tlačítka, otázky, uživateli odpovědi, výsledky konzultace a nabídky Menu, jež je zobrazena v horní části okna.



Obrázek č.32:Úvodní obrazovka FES 1.0

Menu konzultace po spuštění nemůžeme hned vybrat. Nejdříve musíme zvolit menu *Báze znalostí* a z ní položku *Otevřít*. Poté se zobrazí klasické windows okno k otevření souboru. Jelikož báze znalostí je vytvořena v souboru XML, je implicitně

nastaveno zobrazení souborů XML. Je ovšem možné zvolit také zobrazení všech souborů. Implicitně nastavená je i cesta do adresáře *C:/FES/Baze znalosti*. Předpokládá se uložení dostupných bází znalostí právě v této složce.

Po otevření báze znalostí se zpřístupní položka menu *Konzultace*. Zde si uživatel může zvolit ze dvou nabídek: *Spustit konzultaci* a *Konec konzultace*. Jestliže konzultace nebyla ještě spuštěna, položka *Konec konzultace* nebude zpřístupněna.

Na Obrázku č.33 vidíme probíhající konzultaci. Je vidět, že ES je na konci konzultace, kdy uživatel může zvolit pouze posun zpět v konzultaci anebo může konzultaci vyhodnotit.

V prvním případě se ES vrátí o krok zpět a požádá uživatele o zodpovězení předchozí otázky. Tímto způsobem se uživatel může vrátit až na začátek konzultace.

V druhém případě ES vyhodnotí konzultaci a na základě uživatelových odpovědí nabídne typ lyží, který je pro něj nejvhodnější – viz. Obrázek č.34.

Expertní systém FES 1.0

Konzultace    Báze znalostí    Aplikace    Nápověda

Kolik jste ochoten za své lyže zaplatit?

8000  
15000  
16000  
17000  
18000  
19000  
20000  
21000  
22000

Zpět    Vpřed

Vyhodnotit konzultaci

pokročilost 9

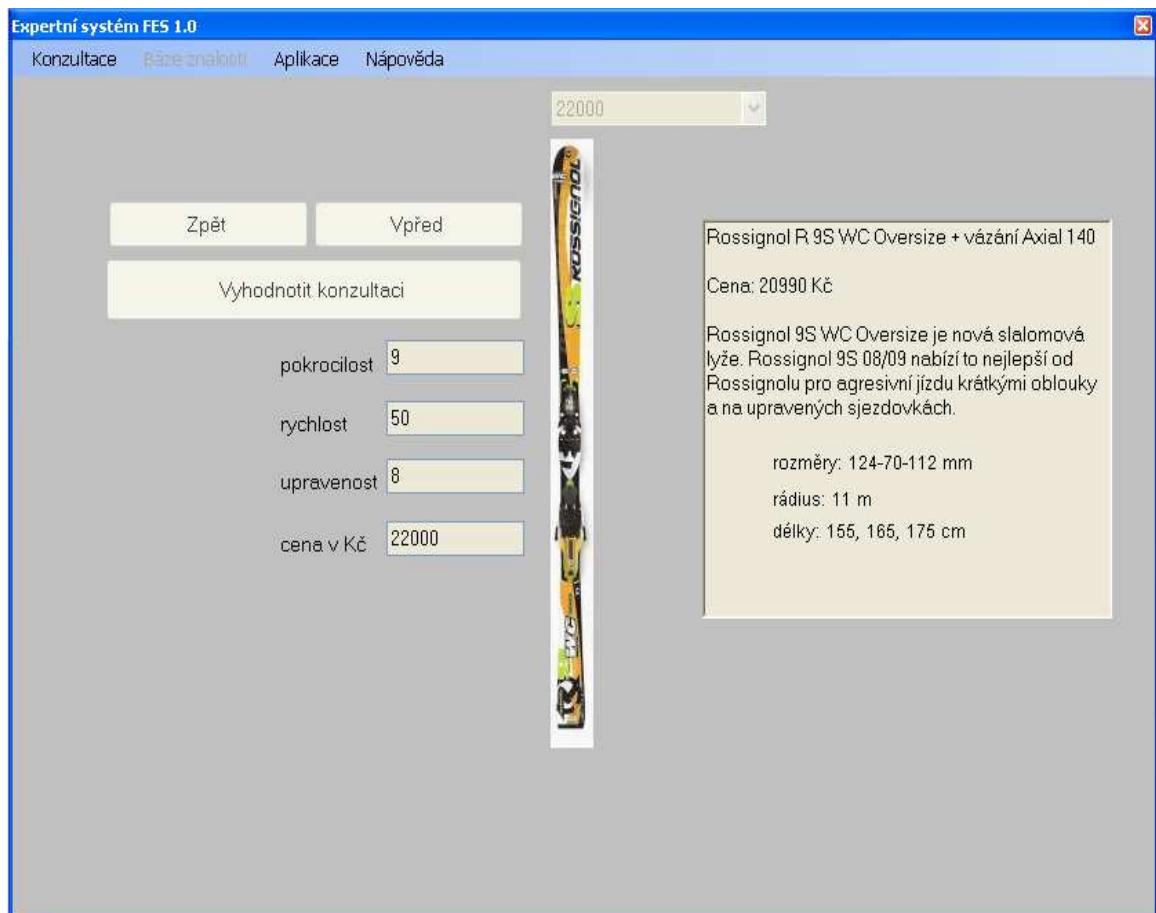
rychlost 50

upravenost 8

cena v Kč

Obrázek č.33: Probíhající konzultace FES 1.0

Probíhající konzultaci můžeme během konzultace ukončit z menu: *Konzultace* -> *Konec konzultace*. Otevře se nám okno s dotazem, zda chceme opravdu konzultaci ukončit. Po potvrzení je FES 1.0 zase v počátečním stavu, stejně jako při jeho spuštění. Jestliže chceme znova spustit konzultaci, musíme znova načíst bázi znalostí.



Obrázek č.34: Zobrazení výsledků konzultace

Průběh a výsledek konzultace si můžeme uložit do nového souboru a to zvolením položky z menu *Aplikace* -> *Uložit výsledky...*

## 12.1 BÁZE ZNALOSTÍ

FES 1.0 je diagnostický expertní systém, jehož BZ se skládá ze dvou částí.

První část je implicitní. Je modelem FPN – 2 a modeluje fuzzifikaci uživatelských odpovědí a defuzzifikaci výsledků inference, kdy FES zjišťuje, jaký typ lyží se pro uživatele nejvíce hodí.

Druhá část BZ je modelována FP – 1 a vyjadřuje fuzzy produkční pravidla **If – then** a do FES 1.0 ji můžeme načíst externě načtením souboru ve formátu XML. Jak vypadá báze znalostí pro tento ES je vidět na Obrázku č. 35. V levé části obrázku je zdrojový kód BZ a vpravo je přehledné vyjádření BZ v programu PSPad editor. [25]

Báze znalostí pro FES 1.0 je stromově uspořádaná množina entit v souboru XML. Hlavní kořen takovéto báze znalostí musí být entita `<baze_znalosti>`. Jejimi podmnožinami pak jsou entity, které ve vyjádření FPN reprezentují místa modelující jednotlivé fuzzy množiny proměnné *vhodnost* ( viz. Obrázek č.31 ). Podmnožinou těchto míst pak je množina míst *AP* ( viz. Tabulka č.6 ) pro jednotlivá místa.

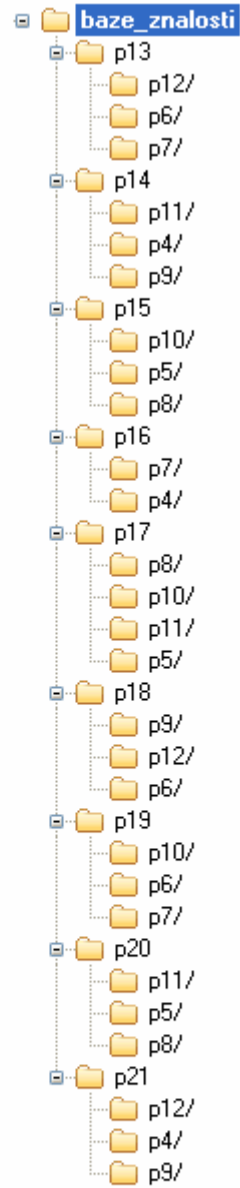
Například entita *p13* vyjadřuje místo  $p_{13}$ , které modeluje fuzzy množinu *L* pro crossové lyže. Množina sousedních míst pro toto místo pak je  $AP_{13} = \{p_{12}, p_6, p_7\}$  a vyjádříme ji tedy entitami *p12*, *p6*, *p7*, jež jsou podmnožinou entity *p13*.

Při sestavování nové BZ znalostí musí být dodrženo několik pravidel. BZ musí mít kořenovou entitu `<baze_znalosti>` a názvy jednotlivých entit se musí shodovat s označením míst ve schématu na Obrázku č.31.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-16"?>
<baze_znalosti>
  <p13>
    <p12/>
    <p6/>
    <p7/>
  </p13>
  <p14>
    <p11/>
    <p4/>
    <p9/>
  </p14>
  <p15>
    <p10/>
    <p5/>
    <p8/>
  </p15>
  <p16>
    <p7/>
    <p4/>
  </p16>
  <p17>
    <p8/>
    <p10/>
    <p11/>
    <p5/>
  </p17>
  <p18>
    <p9/>
    <p12/>
    <p6/>
  </p18>
  <p19>
    <p10/>
    <p6/>
    <p7/>
  </p19>
  <p20>
    <p11/>
    <p5/>
    <p8/>
  </p20>
  <p21>
    <p12/>
    <p4/>
    <p9/>
  </p21>
</baze_znalosti>

```



Obrázek č.35: Báze znalostí zobrazená v editoru PSPad

## 12.2 ALGORITMUS FES 1.0

Činnost FES 1.0 je započata při otevření BZ. Soubor BZ se pomocí metody *Load* třídy *XmlDocument* načte do paměti a pak pomocí metody *foreach* je tento dokument prohledáván. ES tak získá uzly BZ spolu s jejich množinami *AP*.

Nyní uživatel může spustit konzultaci. Během konzultace se hodnoty uživatelských odpovědí ukládají do pole. Hodnoty tohoto pole reprezentují hodnoty míst v navržené FPN modelující BZ takto: index místa v FPN = index místa v poli – 1.

Při zodpovězení všech otázek dojde při kliknutí uživatele na tlačítko *Vyhodnotit konzultaci* k fuzziifikaci všech uživatelských odpovědí, vyhodnocení části BZ modelované pomocí FPN -1 a uložené v souboru XML a poté k defuzziifikaci. Každému typu lyží je určena hodnota reprezentující vhodnost. ES vybere největší hodnotu a podle odpovědi na otázku týkající se ceny vybere pro uživatele nejvhodnější model lyží, který je spolu s informacemi o tomto modelu zobrazen v okně FES ( viz. Obrázek č.34).

## 12.3 VÝSLEDKY KONZULTACE

FES 1.0 umožňuje uživateli uchovat průběh a výsledky konzultace v přehledném výpisu ukládaném ve formátu *txt*. K uložení výsledků může dojít pouze po úspěšně vyhodnocené konzultaci a to klepnutím na položku v menu *Aplikace* -> *Uložit výsledky...* Po vybrání této položky se otevře okno s nabídkou pro uložení. Implicitně je přítom nastavena složka pro ukládání výsledků konzultace na *C:/FES/Vysledky*. Implicitně je také nastaveno zobrazení pouze souborů s příponou *txt*. Lze samozřejmě zobrazit i ostatní soubory zvolením zobrazení všech souborů (\*.\*).

Na Obrázku č. 36 můžeme vidět, jak vypadá soubor s uloženými výsledky konzultace.



Fuzzy expertní systém - báze znalosti modelovaná fuzzy Petriho sítí

Konzultace proběhla dne: 22.5.2009 19:03:43

Výsledky konzultace

Otázky expertního systému a následné odpovědi uživatele

Vyberte svoji pokročilost.

Odpověď: 9

Jakou rychlostí budete jezdit?

Odpověď: 50

Na jakém terénu budete převážně lyžovat? (0 neupravený, 10 zcela upravený)

Odpověď: 8

Kolik jste ochoten za své lyže zaplatit?

Odpověď: 22000

Vhodnost jednotlivých druhů lyží:

Crossový typ lyží: 4

Obřáčkový typ lyží: 5,541666666666667

Slalomový typ lyží: 7,67307692307692

Dle odpovědí uživatele byl vybrán jako nejvhodnější model lyží:  
Rossignol R 95 WC Oversize + vázání Axial 140      Cena: 20990 Kč

Obrázek č.36: Uložené výsledky konzultace

## 12.4 OŠETŘENÍ MOŽNÝCH CHYB FES 1.0

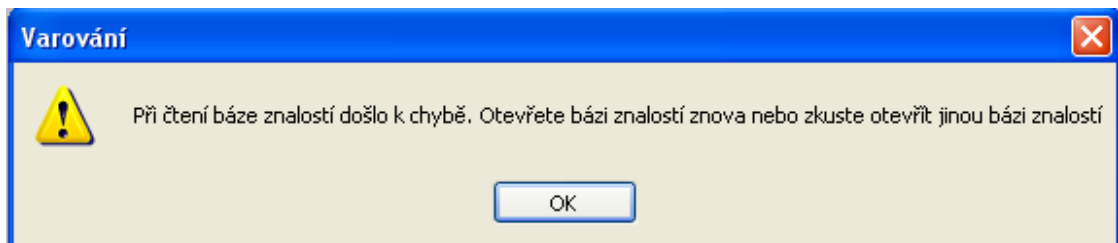
Při činnosti FES 1.0 mohou nastat chyby vedoucí například k nesprávné činnosti ES nebo k jeho „spadnutí“. Snahou bylo vytvořit robustní program zabraňující takovým situacím.

Kromě konkrétních chyb, jež mohou nastat, existují i výjimky, jež nelze předem postihnout. Proto bylo do programu vloženo několik bloků *try* a *catch*.

V bloku *try* je obsažen kód programu, který chceme proti výjimce ošetřit a v bloku *catch* je obsažena činnost, kterou program vykoná pokud nastane nějaká chyba, či výjimka .

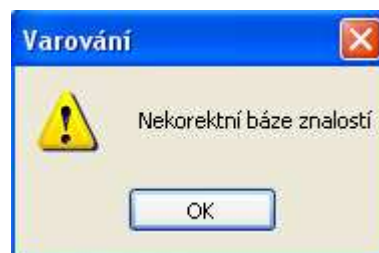
První možností, kde může nastat chyba je načtení nekorektní BZ. Můžeme načíst například jiný formát souboru než formát XML. V tomto případě dojde

k informování uživatele, že došlo k chybě a vybídne jej k otevření BZ znovu nebo k vybrání jiné BZ, viz. Obrázek č.37.



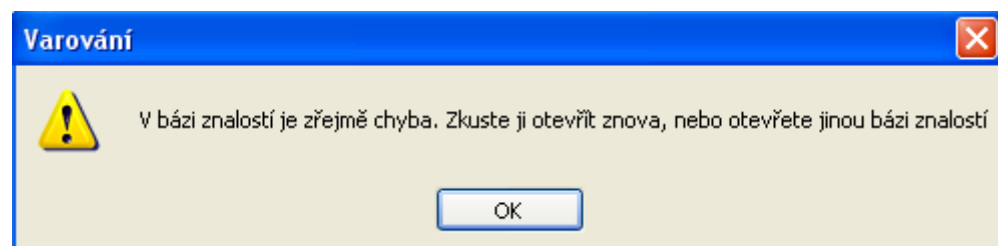
Obrázek č.37: Chyba při otevírání báze znalostí

Pokud ES načte XML soubor, který není souborem BZ, informuje o tom uživatele, jak je vidět na Obrázku č.38. Ten pak musí vybrat korektní soubor BZ, aby mohl spustit konzultaci.



Obrázek č.38: Načtený soubor není báze znalostí

ES je ošetřen i proti chybám, které mohou například nastat při zpracování BZ, která je špatně navržena a následně dojde k neočekávanému chování programu. Reakci ES můžeme vidět na Obrázku č.39.



Obrázek č.39: Chyba v bázi znalostí

## 12.5 AKTUALIZACE FES 1.0

Navržený ES lze aktualizovat každoročně na typy lyží na novou sezonu. Jelikož jsou jednoznačně určeny vlastnosti jednotlivých druhů lyží a ty se v podstatě nemění. Například slalomové lyže jsou vhodné na jízdu malými rychlostmi, naopak obřačkové lyže jsou vhodné na jízdu velkými rychlostmi. Stejně tak se nebude lišit cena nových modelů, která je pro nové modely vždy téměř stejná.

Aktualizace na nové modely může být jednoduše realizována výměnou obrázků lyží ve složce *C:/FES/Obrázky* a výměnou popisných textů ve složce *C:/FES/Text*. Názvy jednotlivých souborů přitom musí být zachovány. Firma Rossignol má každý rok stejné názvy u svých modelů (např. 8S, 9S, atd. ).

## 12.6 PŘÍKLADY KONZULTACE FES 1.0

### 12.6.1Příklad 1

Mějme BZ definovanou expertem z kapitoly [11.1.3](#). Uživatel odpověděl na otázku takto:

- pokročilost – 9
- rychlost – 50 km/h
- upravenost sjezdovky – 8
- cena – 22000 Kč

Tyto hodnoty reprezentují hodnotu vstupních míst:  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ . Budou fuzzifikovány a zjištěny hodnoty funkcí příslušnosti jednotlivých fuzzy množin:  $p_4$  až  $p_{12}$  (viz. Obrázek č. 31 ). Inferenční mechanismus vybere v souladu s koncepcí FP -1 pro místa  $p_{13}$  až  $p_{21}$  maximální vstupní hodnotu – logické spojení AND mezi vstupy (viz kapitola [9.4.1](#) ). Nyní se provede defuzzifikace metodou COA. Jsou tak zjištěny hodnoty míst  $p_{22}$ ,  $p_{23}$ ,  $p_{24}$  modelující vhodnost jednotlivých typů lyží. Inferenční mechanismus vybere jeden typ a podle odpovědi na otázku kolik by byl ochoten

uživatel zaplatit za své nové lyže, nabídne uživateli jeden model lyží ze skupiny lyží pro něj nejvíce vhodných. Místo modelující tento typ ve skutečnosti mít žádnou hodnotu v programu mít nebude. V Tabulce však je reprezentováno jeho hodnotou 1, zatímco ostatní místa mají hodnotu 0.

Hodnota přechodů v části BZ modelované FPN - 1 je nastavena implicitně na hodnotu 0.95, jinak je hodnota přechodu nastavena na 1.

Hodnoty všech míst pro vstupní hodnoty uvedené výše můžeme vidět v Tabulce č. 11.

Vzorový výpočet fuzzifikace ostré hodnoty *pokročilst* = 9 do fuzzy množiny *L* znázorňuje Výpočet č. 1. Vypočtená hodnota vyšla záporná a proto inferenční mechanismus tuto hodnotu nahradí hodnotou nulovou.

Proces rozhodování v části BZ modelované FPN – 1 pak ukazuje Výpočet č.2. Příklad výpočtu defuzzifikace pak znázorňuje Výpočet č. 3.

Tabulka č. 11: Hodnoty míst pro příklad konzultace

$p_i \in P$	$\alpha_{pi}$	$p_i \in P$	$\alpha_{pi}$	$p_i \in P$	$\alpha_{pi}$	$p_i \in P$	$\alpha_{pi}$
$p_1$	50	$p_{11}$	0,2	$p_{21}$	0,76	$p_{31}$	0
$p_2$	8	$p_{12}$	0,8	$p_{22}$	4,21	$p_{32}$	0
$p_3$	9	$p_{13}$	0,76	$p_{23}$	5,83	$p_{33}$	0
$p_4$	0,5	$p_{14}$	0,57	$p_{24}$	8,08	$p_{34}$	0
$p_5$	0,5	$p_{15}$	0,475	$p_{25}$	22000	$p_{35}$	0
$p_6$	0	$p_{16}$	0,475	$p_{26}$	0	$p_{36}$	0
$p_7$	0	$p_{17}$	0,475	$p_{27}$	0	$p_{37}$	1
$p_8$	0,4	$p_{18}$	0,76	$p_{28}$	1	-	-
$p_9$	0,6	$p_{19}$	0	$p_{29}$	0	-	-
$p_{10}$	0	$p_{20}$	0,475	$p_{30}$	0	-	-

Výpočet č. 1: Výpočet fuzzifikace

$$\alpha_{p_{10}} = -\frac{x}{5} + 1 = -\frac{9}{5} + 1 = \underline{\underline{-0,8}}$$

Výpočet č. 2: Výpočet hodnoty místa  $p_{13}$

$$\alpha_{p_{13}} = \max(\alpha_{p_6} \cdot t_4; \alpha_{p_7} \cdot t_7; \alpha_{p_{12}} \cdot t_{22}) = \max(0 \cdot 0,95; 0 \cdot 0,95; 0,8 \cdot 0,95) = \underline{\underline{0,76}}$$

Výpočet č.3: Výpočet defuzzifikace

$$\alpha_{p_{22}} = \frac{0 \cdot \mu_L + 5 \cdot \mu_M + 10 \cdot \mu_H}{\mu_L + \mu_M + \mu_H} = \frac{0 \cdot 0,76 + 5 \cdot 0,57 + 10 \cdot 0,475}{0,76 + 0,57 + 0,475} = \underline{\underline{4,21}}$$

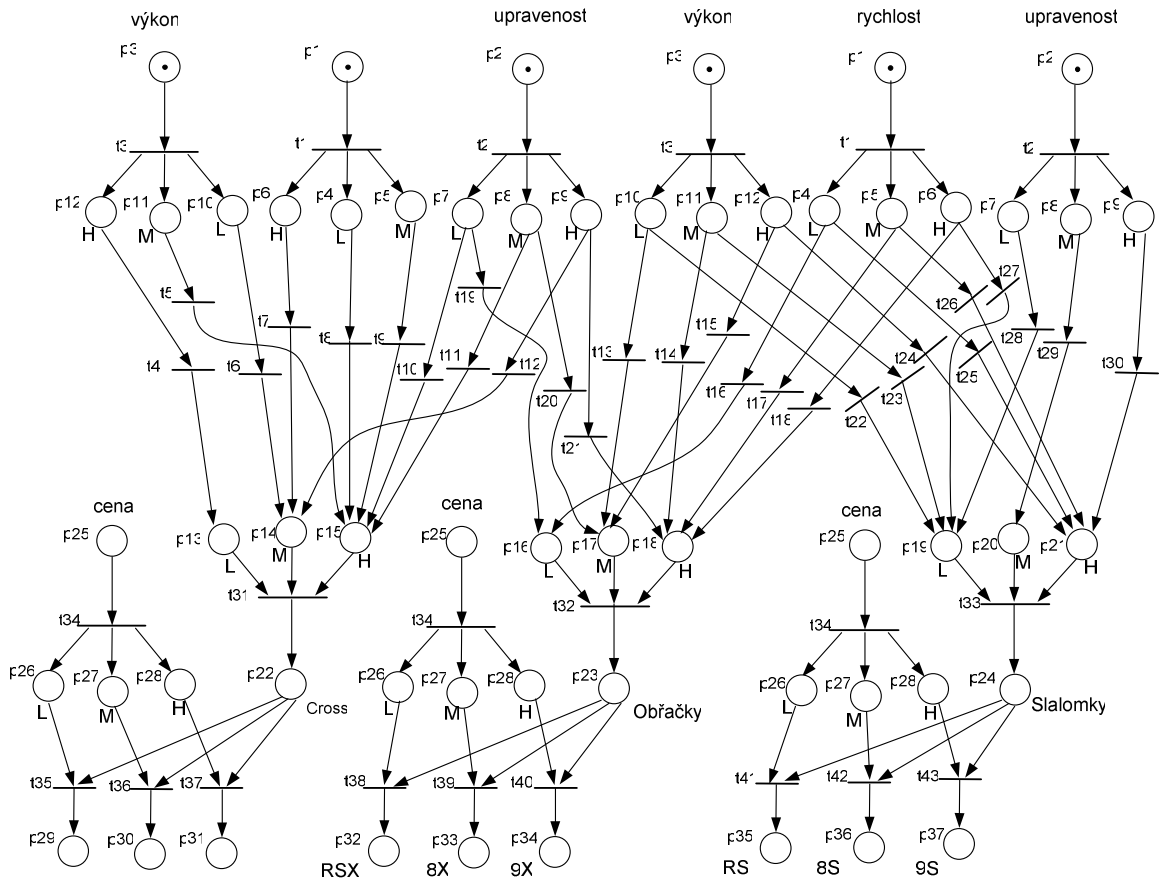
Jak je z Tabulky č. 11 patrné, že jako typ lyží byly vybrány slalomky reprezentované místem  $p_{24}$  a konkrétní typ Rossignol 9S reprezentovaný místem  $p_{37}$ .

### 12.6.2Příklad 2

Mějme BZ definovanou expertem z kapitoly [11.1.4](#). Pro srovnání uživatel odpověděl na otázky stejně jako v předchozím příkladě:

- pokročilost – 9
- rychlost – 50 km/h
- upravenost sjezdovky – 8
- cena – 22000 Kč

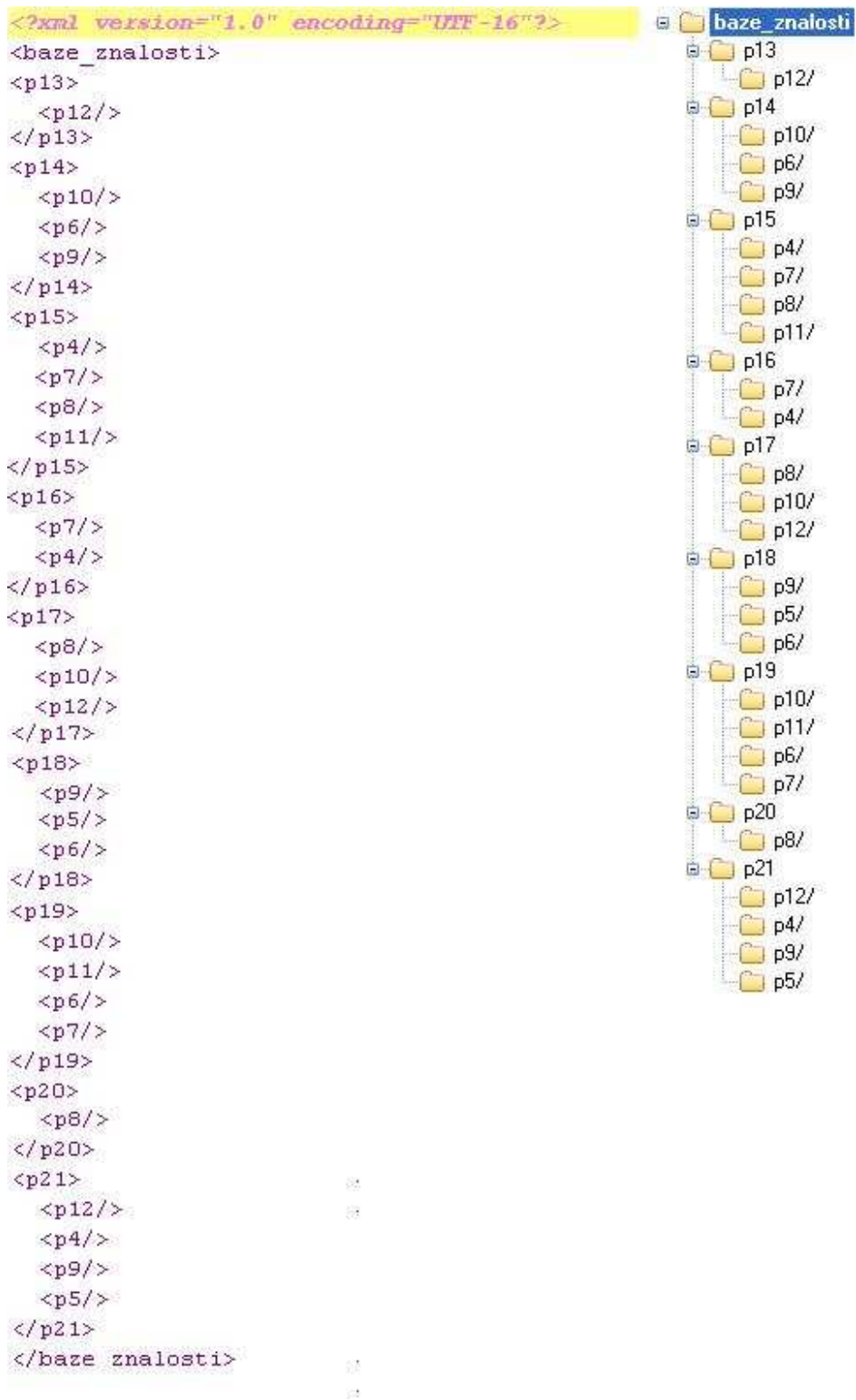
Model takové BZ můžeme vidět na Obrázku č.40. BZ pro program FES 1.0 je pak na Obrázku č. 41.



Obrázek č.40: Báze znalostí – Příklad 2

Činnost ES bude stejná jako v předchozím příkladě. Avšak z důvodu jiné BZ, budou jiné množiny  $AP$  pro jednotlivá místa modelující vhodnost typů lyží. Z tohoto důvodu budou odlišné jejich hodnoty oproti předchozímu příkladu a následně pak ostrá hodnota míst  $p_{22}$ ,  $p_{23}$ ,  $p_{24}$  bude také odlišná od předchozího příkladu. Nicméně se nedá očekávat, že by to mělo velký vliv na konečný výsledek konzultace, jelikož BZ pro druhý příklad je definovaná podobně jako pro příklad první, což demonstruje různé nahlady dvou expertů na takovou BZ.

V Tabulce č. 12 vidíme kompletní výsledky konzultace, respektive hodnoty míst.



Obrázek č.41: Báze znalostí – Příklad 2

Tabulka č. 12: Hodnoty míst pro příklad konzultace

$p_i \in P$	$\alpha_{pi}$	$p_i \in P$	$\alpha_{pi}$	$p_i \in P$	$\alpha_{pi}$	$p_i \in P$	$\alpha_{pi}$
$p_1$	50	$p_{11}$	0,2	$p_{21}$	0,76	$p_{31}$	0
$p_2$	8	$p_{12}$	0,8	$p_{22}$	4,21	$p_{32}$	0
$p_3$	9	$p_{13}$	0,76	$p_{23}$	5,26	$p_{33}$	0
$p_4$	0,5	$p_{14}$	0,57	$p_{24}$	7,14	$p_{34}$	0
$p_5$	0,5	$p_{15}$	0,475	$p_{25}$	22000	$p_{35}$	0
$p_6$	0	$p_{16}$	0,475	$p_{26}$	0	$p_{36}$	0
$p_7$	0	$p_{17}$	0,76	$p_{27}$	0	$p_{37}$	1
$p_8$	0,4	$p_{18}$	0,57	$p_{28}$	1	-	-
$p_9$	0,6	$p_{19}$	0,19	$p_{29}$	0	-	-
$p_{10}$	0	$p_{20}$	0,38	$p_{30}$	0	-	-

V Tabulce č. 13 je pak konečné srovnání při využití různých BZ.

Tabulka č. 13: Srovnání výsledků konzultace při použití dvou různých BZ

	$p_{13}$	$p_{14}$	$p_{15}$	$p_{16}$	$p_{17}$	$p_{18}$	$p_{19}$	$p_{20}$	$p_{21}$	$p_{22}$	$p_{23}$	$p_{24}$
<b>BZ.1</b>	0,76	0,57	0,475	0,475	0,475	0,76	0	0,475	0,76	4,21	5,83	8,08
<b>BZ.2</b>	0,76	0,57	0,475	0,475	0,76	0,57	0,19	0,38	0,76	4,21	5,26	7,14



## 13. ZÁVĚR

Během vypracování této práce bylo provedeno seznámení s problematikou expertních systémů. Největší pozornost byla soustředěna na netradiční koncepci expertních systémů, zvláště pak na problematiku fuzzy modelování a fuzzy Petriho sítí. Při studiu této problematiky bylo nejvíce využito technických materiálů na portálu [www.ieee.org](http://www.ieee.org). Z těchto a mnohých jiných materiálů vykryštalizovaly dvě koncepce fuzzy Petriho sítí, popsanych v kapitole [10.1](#) a [10.2](#).

S pomocí znalostí nabyvších při teoretické přípravě byl proveden návrh fuzzy expertního systému, jehož báze znalostí je modelována pomocí fuzzy Petriho sítí. Oblast, v níž by měl navržený expertní systém pracovat byla zvolena problematika výběru lyží. Při návrhu byly nejdříve stanoveny hypotézy a poté otázky. Pravidla typu If – then jsou namodelována pomocí fuzzy Petriho sítí typu 1, fuzzifikace a defuzzifikace pak Petriho sítěmi typu 2. Takto navržená báze znalostí je kombinací dvou přístupů k fuzzy Petriho sítím.

Programová realizace tohoto návrhu byla provedena v prostředí Microsoft Visual Studio 2008, konkrétně pomocí programovacího jazyka C#.

Vytvořený program byl nazván FES 1.0 a doplňuje činnost experta při rozhodování, jaký typ a následně model je pro uživatele nejvhodnější. Expertní systém pokládá uživateli otázky, aby zjistil, jakým stylem uživatel lyžuje a podle toho nabídne uživateli typ lyží, které jsou z hlediska zodpovězených otázek pro něj nejvhodnější.

FES 1.0 může ke své činnosti využívat báze znalostí, kterou si uživatel sám určí. Taková báze je uložena ve formátu XML. Z hlediska přehlednosti v bázi a snadnému vypracování nové báze znalostí je tento způsob uložení báze velmi vhodný.

Zadání této práce bylo zcela splněno a to jednak z hlediska teoretického rozboru, tak i z hlediska zrealizování nového expertního systému, který používá k reprezentaci báze znalostí fuzzy Petriho sítí.

## 14. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CELBOVÁ, I.: *Úvod do problematiky expertních systémů* [online]. 2008-02-28 [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.ikaros.cz/node/393>>.
- [2] DVOŘÁK. *Úvod do expertních systémů* [online]. a [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.uai.fme.vutbr.cz/~jdvorak/vyuka/es/UvodES.ppt#264,11,TvorbaES>>.
- [3] PROVAZNÍK; KOZUMPLÍK: *Úvod do expertních systémů* [online]. 2004. 1999 [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <[www.dbme.feec.vutbr.cz/homes/provaznik/downloads/esl-cv.pdf](http://www.dbme.feec.vutbr.cz/homes/provaznik/downloads/esl-cv.pdf)>.
- [4] JURA, P.: *Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování.*, 2003. 132 s. ISBN 8021422610.
- [5] GOSMAN, S.: *Umělá inteligence a expertní systémy*, 1990. 168 s.
- [6] Znalostní inženýrství [online]. [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://jampage.wz.cz/skola/odvas/haltuf/znaloinz.htm>>.
- [7] Expertní systémy : Úvod [online]. 2006-05-07 [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://radovan.blogger.cz/it/expertni-systemy/expertni-systemy---uvod>>.
- [8] KREIDL, M.; ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika : senzory - metody - analýza signálu*, 2006. 406 s. ISBN 80-7300-158-6.
- [9] *Petriho sítě* [online]. 2006 [cit. 2008-10-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.cs.vsb.cz/markl/pn/>>.
- [10] SHYI-MING, Ch.; JYH-SHENG, K.; JIN-FU, Ch.: Knowledge Representation Using Fuzzy Petri Nets. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering* [online]. 1990 [cit. 2008-10-10].
- [11] ŠLECHTA, P.: *Kognitivní fuzzy systémy a jejich modelování*, 1998. 120 s. Diplomová práce. Dostupný z WWW: <<http://www.psycholousek.cz/downloads/fuzzylogic.pdf>>.
- [12] LANGER, M.: *Znalostní a expertní systémy* [online]. 2007 [cit. 2008-11-22]. Dostupný z WWW: <[http://jxc-soft.cz/univerzita/es/07\\_fuzzy\\_ES.pdf](http://jxc-soft.cz/univerzita/es/07_fuzzy_ES.pdf)>.

- [13] SHYI-MING, Ch.; YUH-SHIN, S.: *Knowledge Representation Using Extended Fuzzy Petri Nets* [online]. 1996 [cit. 2009-01-20]. Dostupný z WWW: <<http://dspace.lib.fcu.edu.tw/bitstream/2377/2426/1/ce07ics001996000087.pdf>>.
- [14] YEUNG, D.S.; TSANG, C.: *Fuzzy Knowledge Representation and Reasoning Using Petri Nets. Expert Systems With Application* [online]. 1994, no. 7 [cit. 2009-03-17].
- [15] KNYBEL, J.; PAVLIŠKA, V.: *Representation of Fuzzy IF-THEN rules by Petri Nets* [online]. 2005 [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <[http://irafm.osu.cz/research\\_report/84\\_rep84.pdf](http://irafm.osu.cz/research_report/84_rep84.pdf)>.
- [16] *Visual C# Developer Center* [online]. 2009 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://msdn.microsoft.com/en-us/vcsharp/default.aspx>>.
- [17] *Technická podpora pro Českou republiku* [online]. 2009 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://support.microsoft.com/>>.
- [18] SOVA, Jan, KRÁSENSKÝ, David. *Programator - casopis pro vsechny programatory* [online]. 2009 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://casopis.programator.cz/index.php>>.
- [19] MAREŠ, Amadeo. *1001 tipů a triků pro C#*, 2008. 360 s. ISBN 978-80-251-2125-2.
- [20] SHARP, John. *Microsoft Visual 2005 : Krok za krokem.*, 2006. 528 s. ISBN 80-251-1156-3.
- [21] DRATYTON, Peter, ALBAHARI, Ben, NEWERD, Ted. *C# v kostce : Pohotová referenční příručka.*, 2003. 788 s. ISBN 80-247-0443-9.
- [22] ESPOSITO, Dino. *XML - efektivní programování pro .NET.*, 2004. 596 s. ISBN 80-247-0775-6.
- [23] MLÝNKOVÁ, Irena, et al. *Technologie XML.*, 2006. 186 s. ISBN 80-246-1272-0.
- [24] *Lyže Rossignol* [online]. [cit. 2008-12-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.skvelysport.cz/40-lyze-rossignol>>.
- [25] FIALA, Jan. *PSPad* [online]. 2001-2009 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.pspad.com/cz/>>.

## Seznam zkratek

ES	expertní systém
I/O	vstup/výstup
FES	fuzzy expertní systém
PN	Petriho síť
C/E	condition/event
P/T	place/transition
TPN	časovaná Petriho síť
HPN	hierarchická Petriho síť
FPN	fuzzy Petriho síť
CF	činitel jistoty
FPN – 1	fuzzy Petriho síť 1. typu
FPN – 2	fuzzy Petriho síť 2. typu
S	slalomové lyže
X	obřádkové lyže
C	crossové lyže

## Seznam příloh

Příloha 1: Báze znalostí – Příklad 1, báze znalostí ve formátu xml, jen na CD

Příloha 2: Báze znalostí – Příklad 2, báze znalostí ve formátu xml, jen na CD