

Rozhodovací systémy při posuzování technického stavu kolejových vozidel

Jaromír ŠIROKÝ

Ing. Jaromír ŠIROKÝ, Ph.D., Institut dopravy FS, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 30 Ostrava Poruba. tel: 069/7324575, e-mail: jaromir.siroky@vsb.cz

Fuzzy řízení vychází ze známých principů fuzzy regulátoru, které jsou popsány např. v [JURA1998].

Do tohoto procesu vstupují data z informačního systému. Ta jsou různých typů a podob. Proto je potřeba převést jejich hodnoty na fuzzy množiny. Tento převod se děje v tzv. *modulu fuzzifikace*. Takto upravené hodnoty vstupují do *inferenčního mechanismu*, který pracuje na *znalostní bázi* fuzzy řízení. Výsledkem inferenčního mechanismu je fuzzy množina, které pro přímé řízení většinou není použitelná. Převod této výsledné fuzzy množiny na ostré hodnoty, vhodné pro řízení, se děje v modulu defuzzifikace. V následujícím budou popsány základní principy a celky tohoto řízení.

1 Struktura fuzzy řízení

Struktura fuzzy řízení je blokově naznačena na obrázku Obr. 1. Skládá ze dvou modulů – modulu fuzzifikace, který převádí vstupní hodnoty na fuzzy množiny a modulu defuzzifikace, který provádí činnost opačnou. Oba jsou spojeny inferenčním mechanismem, který realizuje vyhodnocovací procesy, ke kterým využívá bázi znalostí. Ta se skládá z báze pravidel a báze dat. V dalším je proveden popis funkce jednotlivých bloků řízení podle obrázku Obr. 1.

1.1 Normalizace

V modulu fuzzifikace představuje normalizace přepočtení fyzikálních veličin z informačního systému do interní číselné reprezentace, tj. přepočtení do normalizovaného univerza. Tento přepočtení se děje na základě měřítka:

$$x_U = x_{IS} \cdot k_{IS}$$

(1)

kde: x_U [1] – normovaná veličina

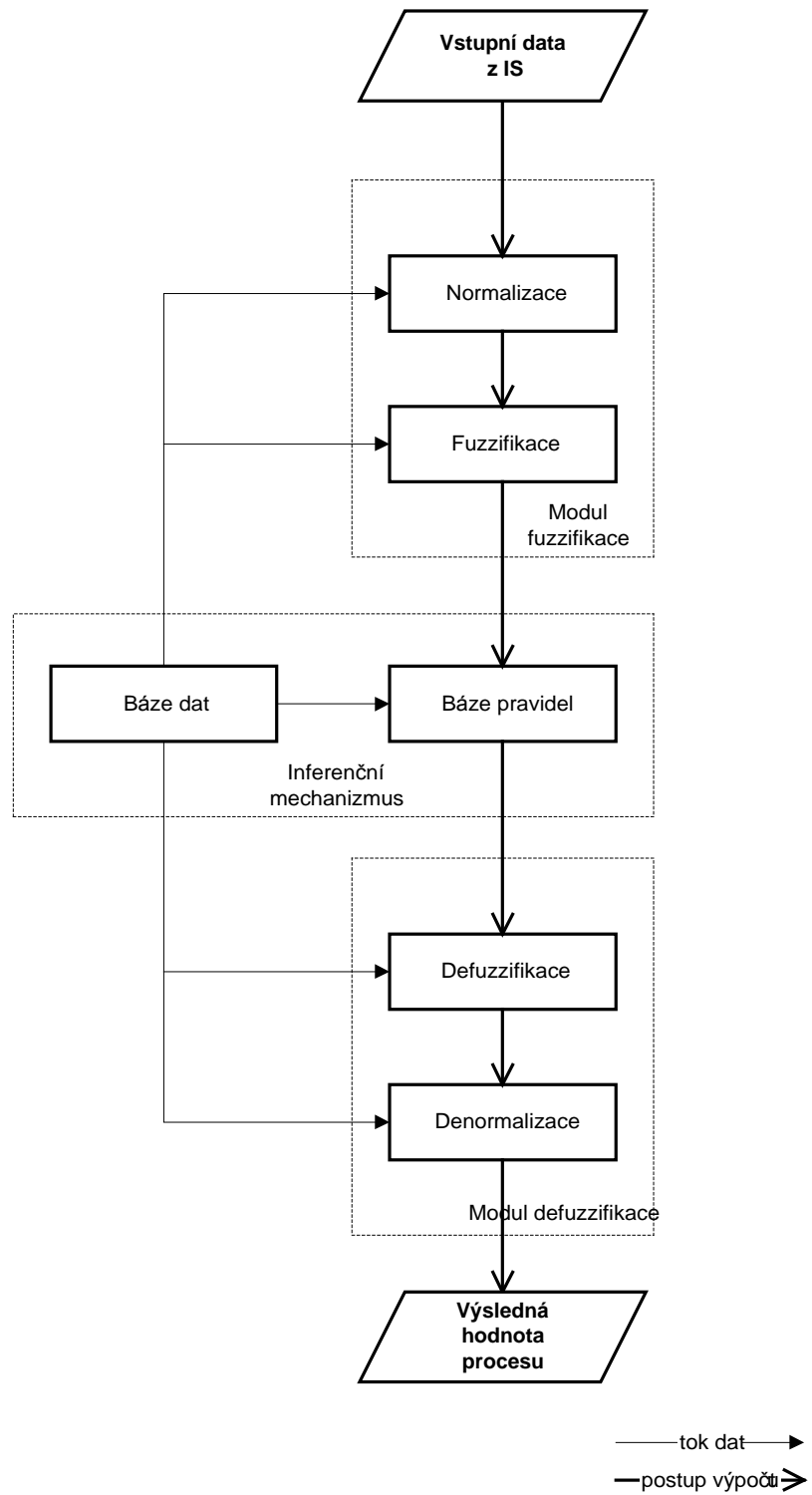
x_{IS} [x_{IS}] – skutečná hodnota z informačního systému o rozměru x_{IS} .

k_{IS} [x_{IS}^{-1}] – měřítko normalizace, stanovené pro každý vstupní údaj z informačního systému

1.2 Fuzzifikace

Vlastní fuzzifikace je procedura převádějící ostré hodnoty normalizovaných vstupních veličin na vyjádření pomocí neostrých množin. Tyto množiny se stávají příčinnou částí pravidel inferenčního mechanismu.

Nejčastěji používané tvary po částech lineárních funkcí příslušnosti jsou Γ -funkce, L-funkce, Λ -funkce a Π -funkce. Jejich tvary a definice podle [JURA1998] jsou v tabulce Tab. 1.



Obr. 1: Bloková struktura fuzzy řízení

Tab. 1: Definice po částech lineárních funkcí příslušnosti

(2)

	$\Gamma(u, a, b) = \begin{cases} 0 & u < a \\ (u-a)/(b-a) & a \leq u \leq b \\ 1 & u > b \end{cases}$	(a)
<p>Γ-funkce (a = 3, b = 5)</p>		
	$\Pi(u, a, b, g, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ (u-a)/(b-a) & a \leq u \leq b \\ 1 & b \leq u \leq g \\ (d-u)/(g-d) & g \leq u \leq d \\ 0 & u > d \end{cases}$	(d)
<p>Π-funkce (a = 2, b = 3, g = 5, d = 6)</p>		

Nejčastěji používané tvary spojitéch funkcí příslušnosti jsou podle [MathWorks, 2001] funkce podle tabulky Tab. 2.

Tab. 2: Definice spojitéch funkcí příslušnosti

(3)

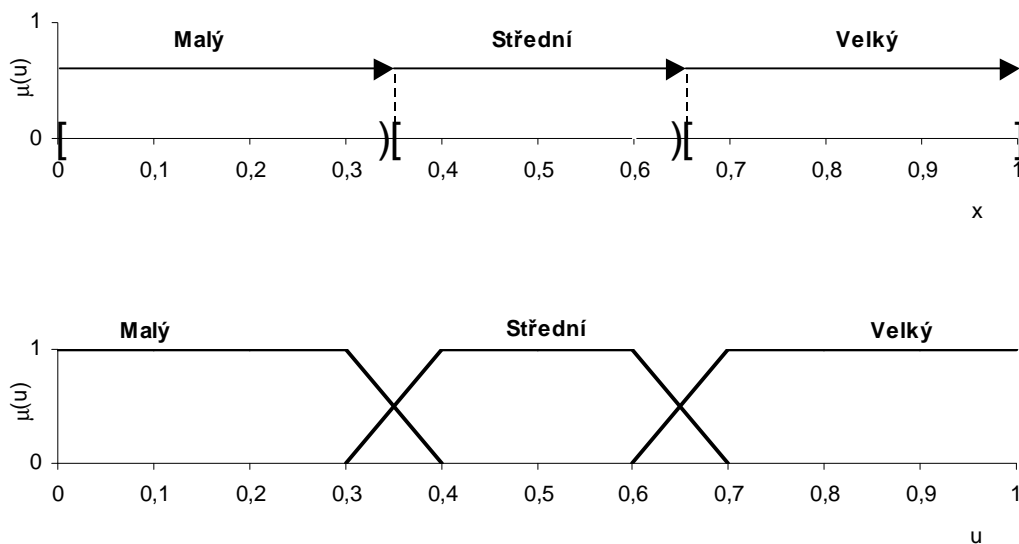
	$S(u, a, c) = \begin{cases} 0 & u \leq a \\ 2(u-a)^2 / (c-a)^2 & a \leq u \leq b \\ 1 - 2(u-c)^2 / (c-a)^2 & b \leq u \leq c \\ 1 & u > c \end{cases}$ $b = \frac{a+c}{2}$	(a)
<p>S-funkce (a = 2, c = 5)</p>		
	$R_W(u, c, m, x_0) = 1 - F_W = e^{-\left(\frac{u-x_0}{c}\right)^m}$	(h)
<p>Funkce bezporuchovosti R (c = 2, m = 3,42, X₀ = 0)</p>		

Funkce příslušnosti podle vztahů (2) představují fuzzifikaci pomocí lineárních průběhů jednotlivých částí funkce. Z hlediska použití jsou tyto průběhy výhodné pro svou jednoduchost. Tyto funkce se používají při konstrukci fuzzy regulátorů.

Spojité funkce příslušnosti podle vztahů (3) tuto předchozí nevýhodu odstraňují. Pro technickou praxi se s výhodou používají především funkce příslušnosti podle (3h) popisuje distribuční funkci bezporuchovosti tak, jak je definován pomocí trojparametrického Weibullova rozdělení jako doplněk k distribuční funkci pravděpodobnosti poruch [DANEK1999]. Tato možnost je zvláště výhodná v technické praxi, kde pro rozhodovací procesy velmi často využíváme teorii spolehlivosti postavené na základech statistiky.

Činnost modulu fuzzifikace představuje kvantování ostrých hodnot vstupujících z informačních systémů do předem stanoveného počtu termů, se kterými se pak realizuje vlastní řídicí pochod. V případě, že funkce příslušnosti jednotlivých skupin se na univerzu U překrývají, vzniká tím tzv. *vynucená nejistota*. Tato může v případě hodnocení měřených hodnot eliminovat chyby vzniklé nedostatečnou rozlišovací schopností přístroje i chyby odečtu hodnot.

Pokud pro hodnocení nemáme dostatek dat z důvodů nepotřeby přesnějších dat o pozorovaném jevu, pak hovoříme o *volitelné nejistotě*. Kvantování na tomto základě umožňuje snižovat počet údajů, případně vytěžit z malého množství údajů maximální informaci - což je většinou problém, se kterým se praxe potýká. Takovéto množství hodnot je pak možno popisovat i slovním vyjádřením jako např. „Malý, Střední, Velký“ nebo „Výborný, Vyhovující, Vadný“. Ilustrativní ukázka je na obrázku Obr. 2.



Obr. 2: Princip volitelné nejistoty

2 Inferenční mechanismus

Tato část fuzzy řízení představuje vlastní jádro rozhodovacích procesů. Pro svou činnost využívá dvou částí:

2.1 Báze dat,

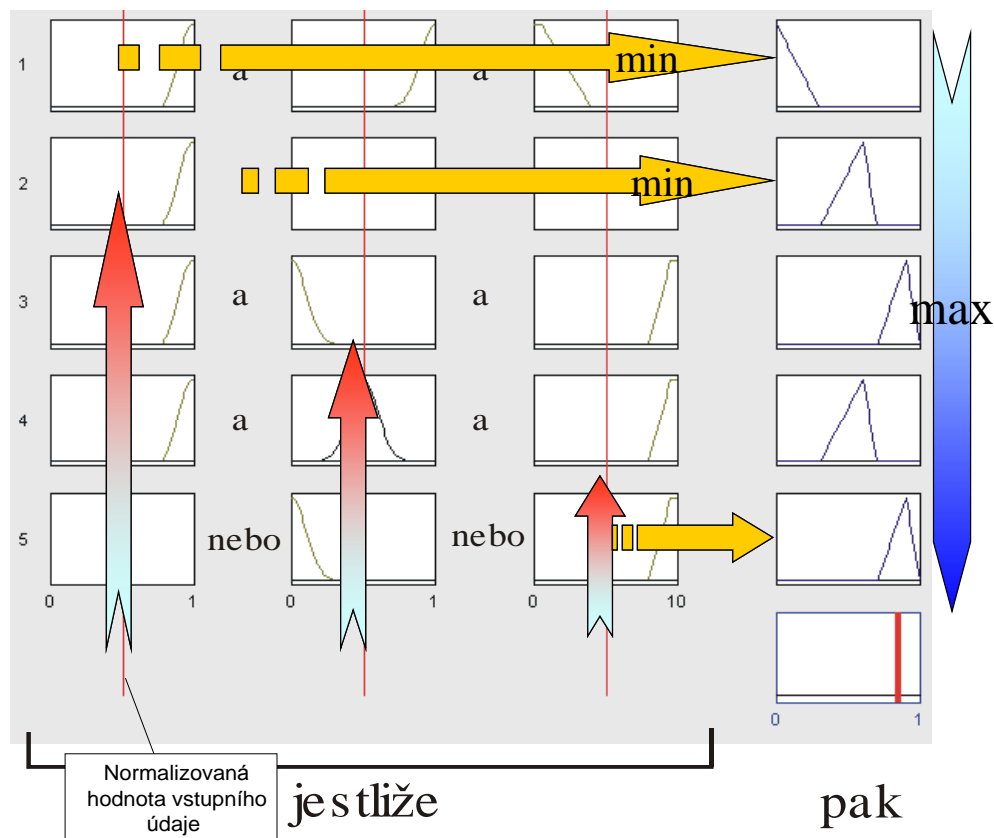
kterou využívá společně s modulem fuzzifikace a defuzifikace. Obsahuje informace o jednotlivých vstupních veličinách, jejich měřících a typech funkční příslušnosti. Při návrhu typů příslušností musíme dbát na to, aby popis dané veličiny pomocí funkcí příslušnosti k jednotlivým množinám byl *konzistentní*. Tento požadavek stanoví, že všechny možné hodnoty univeza U musí být pokryty alespoň jednou funkcí příslušnost.

2.2 Báze pravidel

obsahuje definici následujících veličin:

- Volba veličin rozhodných pro stav systému a tvorbu rozhodnutí - představuje seznam vstupních veličin, které se použijí pro konstrukci rozhodovacích pravidel. Pro výstup se určuje jediná veličina, které reprezentuje řídicí zásah.
- Volbu množiny jazykových hodnot termů.
- Volbu obsahu antecedentů a konsekventů jednotlivých pravidel.
- Výběr pravidel podmínek if-then.

Postup inferencce je schematicky znázorněn na obrázku Obr. 3.



Obr. 3: Principiální schéma individuálního inferenčního mechanismu

3 Modul defuzzifikace

Tento modul představuje výstupní část systému řízení. Realizuje převod výsledku inferenčního mechanismu do ostrých hodnot použitelných pro řízení.

3.1 Defuzzifikace

Výsledkem inferenčního mechanismu je opět fuzzy množina, její funkce příslušnosti je však podstatně složitější, než u vstupních hodnot. V této podobě výsledek není přímo použitelný pro řízení. Proto se tato množina musí převést na srozumitelnou ostrou hodnotu (číslo) nebo na jazykovou proměnnou. Tomuto procesu se říká *defuzzifikace*. K jejímu provedení je možno použít několik metod.

3.2 Denormalizace

Výsledná ostrá hodnota je předána na *denormalizaci*, která inverzním způsobem k postupu normalizace stanoví pomocí měřítka skutečnou hodnotu řídicí informace pro informační systém.

4 Aplikace fuzzy řízení při posuzování technického stavu

4.1 Diagnostický test

Jedním z diagnostických testů, který je možno použít při údržbě hnacích vozidel, je testování poháněcího soustrojí spalovací motor – generátor u lokomotiv závislé vozby s elektrickým přenosem výkonu. Z důvodů provádění pravidelných testů v letech 1988 až 1995 byly vybrány údaje o lokomotivní řadě označované u ČD jako 742.

Princip spočívá s tom, že elektrická energie vyrobená tímto soustrojím je přeměňována na zatěžovacím odporu na teplo. Po připojení soustrojí na tento odporník je možno soustrojí zatěžovat ve vybraných režimech, podobných zatěžovacím režimům v provozu. Zde je však možno snímat množství signálů přímo ze soustrojí a ty použít jednak pro diagnostické účely a pak pro nastavení předepsaných parametrů poháněcího soustrojí.

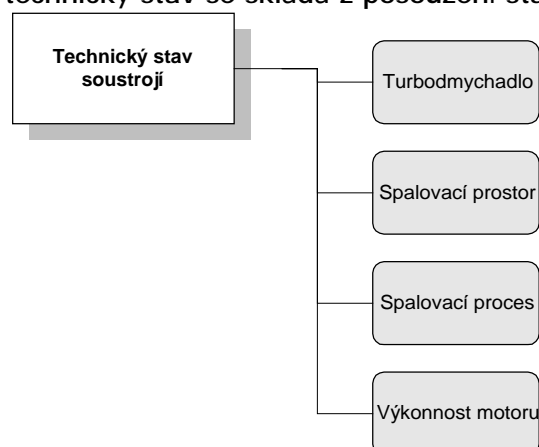
Údaje odečtené z přístrojů připojených na sledované soustrojí jsou přeneseny do informačního systému LOKOMOTIVY pomocí protokolu na obrázku Obr. 4.

Datum : 12.02.93		Stupen 2		Znamka 5		Km.beh		** 742101				
Pist sk.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Diprosa	10	99	20	15	20	15						
Komprese	26	13	28	25	29	26						
Sp.tlak 1 st.	42	20	38	36	41	43						
Sp.tlak 8 st.	105	076	095	098	102	096						
Teploty	420	330	410	450	440	450						
Motor	Uykon 765	Otacky 1252	Uys.pal 22.1	Tl.oleje 42/56	C. 70							
TBD 1	Tlak 120	Otacky	TBD 2	Tlak	Otacky							
Duvod pristavby	test pred MM - 2 PS na vymenu											
Popis mereni	lok do MM, demontaz 2 PS, ztrata kompres. tlaku. Lok nesmi											
Provedene prace	bez demontaze 2 PS do provozu!											
Pokracovat - stiskni cokoliv												

Obr. 4: Formulář záznamu výsledků diagnostického testu

4.2 Výběr hodnot pro hodnocení

Vzhledem ke složitosti testovaného soustrojí, je nutné jej rozdělit na čtyři uzly jejichž technický stav se bude posuzovat. Toto rozdělení je schématicky znázorněno na obrázku Obr. 5. Celkový technický stav se skládá z posouzení stavu uzlů.



Obr. 5 Rozdělení soustrojí motor – generátor do samostatných uzlů

Tab. 3: Typické funkce příslušnosti

TLAK2 _r		<p>Malý: $M = L(u, 5, 10)$</p> <p>Střední: $S = \Lambda(u, 5, 10, 20)$</p> <p>Vysoký: $V = \Gamma(u, 10, 25)$</p>
TLAK1 _s		<p>Nízký: $N = L(u, 30, 38)$</p> <p>Dobry: $D = \Pi(u, 34, 38, 46, 54)$</p> <p>Vysoký: $V = \Gamma(u, 48, 54)$</p>
KOM _r		<p>Malý: $M = L(u, 5, 10)$</p>

Pro správnou funkci bloku fuzzifikace je nutné do rozhodovacího procesu (báze dat) stanovit funkce příslušnosti pro jednotlivé termy, použité pro popis hodnot vstupních údajů. Pro stanovení funkčních příslušností se v tomto případě vychází z histogramů hodnot a z technických údajů v nastavovacích předpisech. V prvním přiblížení byly pro stanovení funkcí použity průběhy ze skupiny po částech lineární funkce

Pro zvolené typické průběhy byly stanoveny funkce příslušnosti podle tabulky Tab. 3.

Vzhledem k rozsahu problematiky v následujícím je proveden návrh pravidel pro vybraný (možno říci i typický) testovaný uzel.

Turbodmychadlo

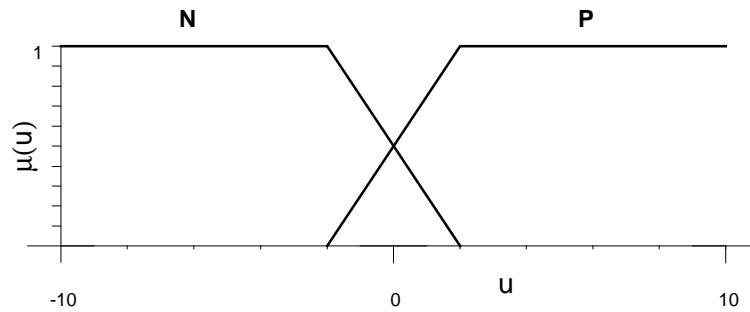
Pro návrh pravidel je použito v podmínkové části implikace složených fuzzy výroků, tvořených kombinací základních množinových operací. Pro výstupní výrok, který je atomický, použijeme dvoustavovou množinu termů podle Obr. 6. Pro označení termů vstupních hodnot jsou použity hodnoty „Provoznoschopný“ a „Neprovoznoschopný“.

Obecná rovnice popisující podmínky je následující:

$$\text{if } (P1=T_{P1} \text{ op } OT1=T_{OT1} \text{ op } KW=T_{KW}) \text{ then } ZN_{tur}=T_{ZN}$$

kde: T_i – term pro hodnocení dané veličiny (viz Tab. 4.9)

op – typ množinové operace, musí být pro celý výraz jednotný



Obr. 6: Termy výsledků technického stavu uzlů (dvoustavový)

Pro sestavenou bázi znalostí musí být realizován test konzistence, tzn., že pro všechny přípustné kombinace vstupních hodnot musí být inferenčním mechanismem nalezena výstupní množina. V tomto případě to znamená, že pro ostrou hodnotu po dezuzifikaci u^* a libovolný term T_i z množiny výsledků platí:

$$u^* \neq 0 \wedge T_i : m(u) > 0$$

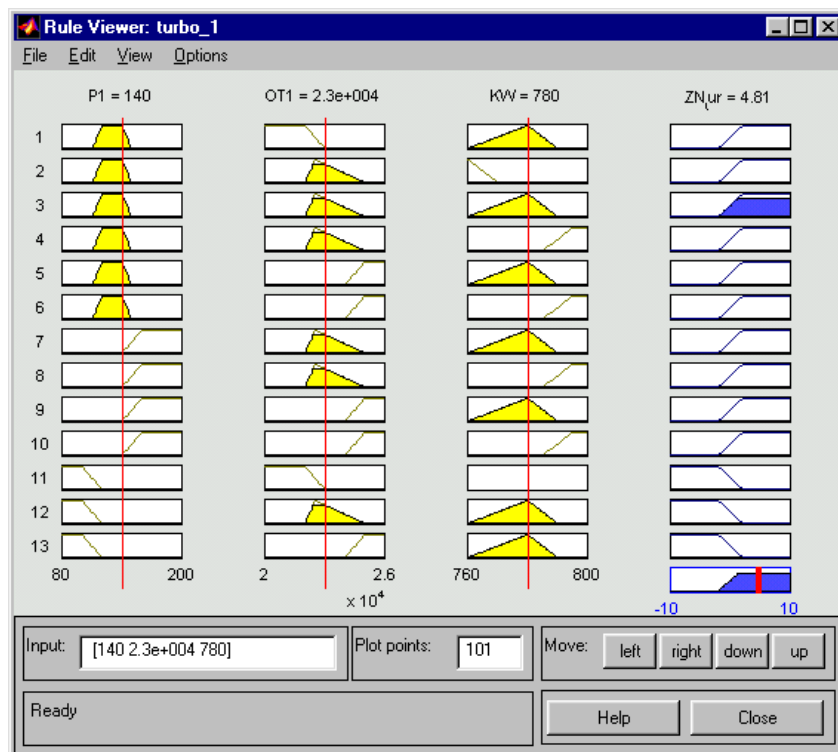
Z výsledku provedené kontroly na konzistenci podmínek, který je v Tab. 4 vyplývá, že **navržené podmínky jsou konzistentní**. Polemiku zaslouží pouze řádek č. 10, kde sice $u^* = 0$, ale pro oba termy platí $m(u) > 0$.

4. 3 Realizace inferenčního mechanismu

Inferenční mechanismus podle podmínek sestavených v bázi pravidel byl realizován pomocí softwarového nástroje MatLab®, Fuzzy Logic Toolbox od firmy The MathWorks Inc. Grafické znázornění je na obrázku Obr. 7, kde výsledná hodnota hodnocení technického stavu vychází z hodnot vstupních veličin v poli označeném „Input“.

Tab. 4: Tabulka výsledků kontroly konzistence

Č. ř.	P1	OT1	KW	u^*	$m(u)$
1.	90	22500	765	-4.9842	>0
2.	90	22500	780	-4.9842	>0
3.	90	22500	795	-4.9842	>0
4.	90	23500	765	-4.9842	>0
5.	90	23500	780	-4.9842	>0
6.	90	23500	795	-4.9842	>0
7.	90	25500	765	-4.9842	>0
8.	90	25500	780	-4.9842	>0
9.	90	25500	795	-4.9842	>0
10.	130	22500	765	0.0000	>0
11.	130	22500	780	1.7181	>0
12.	130	22500	795	1.7181	>0
13.	130	23500	765	4.5351	>0
14.	130	23500	780	4.6281	>0
15.	130	23500	795	4.6281	>0
16.	130	25500	765	4.2966	>0
17.	130	25500	780	4.9842	>0
18.	130	25500	795	4.9842	>0
19.	170	22500	765	-1.6506	>0
20.	170	22500	780	1.7181	>0
21.	170	22500	795	1.7181	>0
22.	170	23500	765	4.2966	>0
23.	170	23500	780	4.6281	>0
24.	170	23500	795	4.6281	>0
25.	170	25500	765	4.2966	>0
26.	170	25500	780	4.9842	>0
27.	170	25500	795	4.9842	>0



Obr. 7: Grafická interpretace inferenčního mechanismu pro posuzování uzlu *turbodmychadlo*

5 Závěr

Teoretické poznatky z oblasti fuzzy množin a fuzzy regulace byly aplikovány na konkrétní problémy při rozhodování o technickém stavu vybraného uzlu hnacího vozidla. Pro implementaci a ověření funkčnosti byla použita reálná data, získaná z informačního systému LOKOMOTIVY.

Byla provedena analýza záznamů a jejich struktury z pohledu použitelnosti pro rozhodovací procesy.

Pro vytypované položky byly provedeny statistické rozborů a následně navržen postup převodu ostrých hodnot na množinu termů. Pro hodnocení stavu byly navrženy tři použitelné typy množin termů.

Konkrétní řešení celého postupu návrhu inferenčního mechanismu rozhodovacího procesu bylo provedeno pro uzel označený Turbodmychadlo. Inferenční mechanismus byl navržen a ověřen v prostředí MatLab, který umožňuje provádět ověřovací pokusy. Při ověřování byly zjištěny některé skutečnosti:

- a) Pro posuzování stavu je nutné použít nejen denormalizovanou ostrou výstupní hodnotu $\hat{Z}N$, ale je nutné i posouzení tvaru výsledné fuzzy množiny.

Výsledná hodnota popisuje procentní hodnocení stavu daného výstupním termem. Tvar výstupní množiny však může odhalovat nejednoznačnost řešení – řešením je více termů s rozdílnou hladinou příslušnosti viz tabulka Tab. 5.

Tab. 5: Prezentace výsledků inferenčního mechanismu

Hodnocení	Tvar výsledného termu	Komentář
$u^* = -4,980$ $\hat{Z}N = -100$		Jednoznačné řešení, stav je jednoznačně určen.
$u^* = 2,6$ $\hat{Z}N = 52,16$		Řešení, kdy hodnocení ostrou hodnotou ukazuje na 50% stav Provoznuschopný, projevuje se zde i vliv stavu Neschopný.
$u^* = 0$ $\hat{Z}N = 0$		Neurčité řešení, vstupní hodnoty nemohou určit stav uzlu.

- b) Tento přístup umožňuje, aby hodnotami vstupních veličin byly nejen ostré hodnoty, ale i hodnoty vyjádřené jazykovými proměnnými. Tento stav se vyskytuje velmi často při subjektivním hodnocení odborníkem, kde se používá dvou nebo třístupňový systém hodnocení.
- c) Jednoduchý matematický popis jednotlivých fází rozhodovacího procesu umožňuje jejich algoritmizaci. To umožňuje tvorbu modulů rozhodovacího procesu přímo v prostředí informačního systému, případně programování vestavných modulů typu add-in.

Práce využívá dílčích výsledků, vzniklých v rámci řešení výzkumného záměru CEZ: J17798:272300011 a finanční podpory interního grantu Fakulty strojní VŠB - TU Ostrava.

Literatura

- ADAM, R.: Řízení soustav pomocí logiky fuzzy množin. In: Automatizace, č. 3, r. 34, 1994. s. 52-55
- DANĚK, A., ŠIROKÝ, J. Teorie obnovy dopravních prostředků. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1999.
- DANĚK, A., ŠIROKÝ, J. Logistické rozdělení pro soubory s dožíváním. In. Diagnostika 2000. Brno: Vojenská akademie Brno, katedra bojových vozidel. 2000.
- JURA, P. Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování. 1. vydání. Brno: FEI VUT Brno, 1998. ISBN 80-214-1203-8
- MathWorks: Fuzzy Logic Toolbox, User's Guide, For Use with MATLAB®. Version 2. The MathWorks. Inc. www.mathworks.com. 2001-01-10.
- NOVÁK, V. Základy fuzzy modelování. 1. vydání, Praha: BEN – technická literatura, Praha. 2000. ISBN 80-7300-009-1