

ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

Spolehlivost založená na fuzzy datech



**Materiály z 34. setkání
odborné skupiny pro spolehlivost**

Praha, únor 2009



OBSAH:

Základy fuzzy logiky a jejího použití Ing. Oktavián Strádal, Ph.D.	5
Kdy jsou vhodné fuzzy metody a kdy metody pravděpodobnostní? Mgr. Věra Záhorová, Ph.D.	29
Využití fuzzy množin při posuzování spolehlivosti stavebních konstrukcí Prof. Ing. Zdeněk Kala, Ph.D.	47
Hodnocení stavu mostních objektů s použitím fuzzy metod Jaroslav Menčík a Petr Rudolf	53

Základy fuzzy logiky a jejího použití

Ing. Oktavián Strádal, Ph.D.

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra informatiky v dopravě

1

Fuzzy

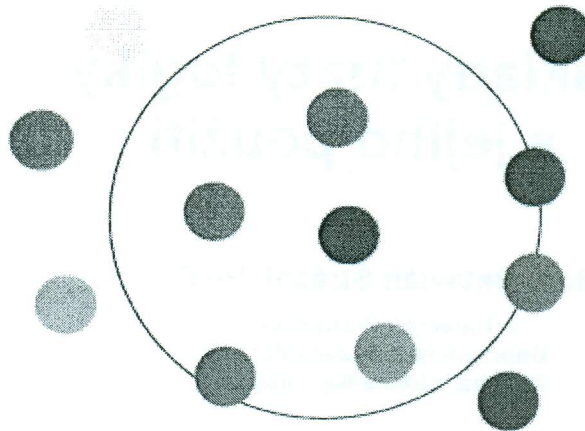
Fuzzy – mlhavý, nejasný, neostrý, neurčitý.

Má pojem "neurčitost" oprávnění ke své existenci v technické vědě? Ukazuje se, že i mlhavé pojmy je možno popsat matematicky přesně a s takto popsanými pojmy potom matematicky pracovat, znamená umět matematicky vyhodnotit přibližné úsudky a závěry, které jsou výsledkem rozhodovacích procesů, do kterých vstupují neurčité a mlhavé vstupní údaje.

Člověk, pohybující se v reálném světě, musí každodenně provádět mnoho takových úsudků a závěrů. Je možno, aby takové úsudky nebo závěry prováděl i stroj? Do jisté míry ano, ale jak.

2

Fuzzy množina



3

Klasická a fuzzy množina

ostrá množina (crisp set) C

je-li C definována na univerzu U , pak pro prvek $u \in U$ platí $u \in C$ nebo $u \notin C$

fuzzy množina (fuzzy set) F

je-li F definována na univerzu U , pak prvek u z univerza U může patřit do množiny F jen částečně

4

Fuzzy množina

- Typická charakteristika přirozeného jazyka, kterou nemůžeme žádným způsobem obejít, je vágnost jeho sémantiky.
- Řešení této situace nabízí fuzzy logika, protože nám umožňuje modelovat význam slov přirozeného jazyka.
- Problém popisu nepřesných pojmů řeší modifikovaná teorie množin, tzv. fuzzy množin, které jsou nástrojem pro matematický popis vágních a nepřesných pojmů.

5

Fuzzy množina

Lingvistická proměnná je taková proměnná, jejíž hodnoty jsou výrazy nějakého jazyka.

Hodnotu lingvistické proměnné můžeme interpretovat jako fuzzy (neostrá) množina.

Množina lingvistických hodnot se označuje jako množina **termů**. Termy jsou definovány na **univerzu**, které chápeme jako univerzální množinu.

6

Funkce příslušnosti

Prvek patří do množiny F s jistou mírou příslušnosti, **stupněm příslušnosti** $\mu_F(u)$ (membership degree).

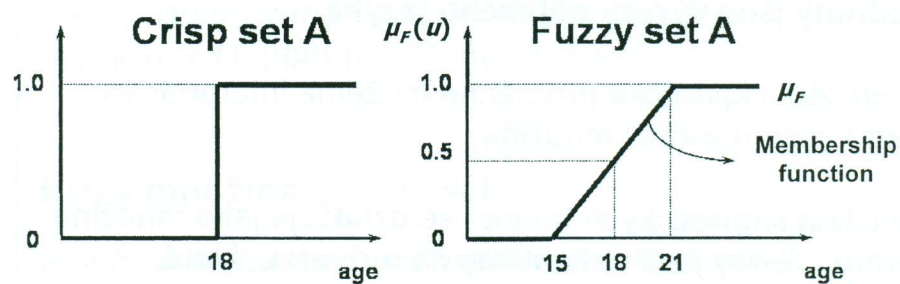
Funkce, která každému prvku universa přiřadí stupeň příslušnosti, se nazývá **funkce příslušnosti** μ_F (membership function).

Takže každý prvek $u \in U$ má stupeň příslušnost $\mu_F(u) \in [0, 1]$, tzn. $0 < \mu_F(u) < 1$, nejsme si jisti, zda u patří do F . Stupeň příslušnosti vyjadřuje stupeň našeho přesvědčení, že daný prvek patří do dané fuzzy množiny.

7

Fuzzy množina

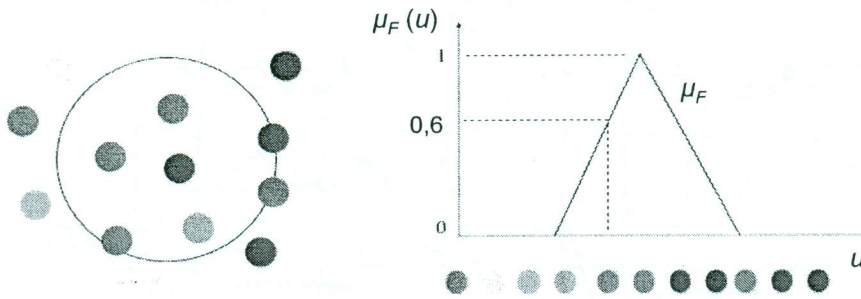
A = Set of people



8

Fuzzy množina

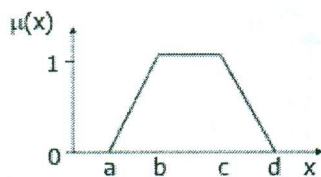
funkce příslušnosti μ_F , stupeň příslušnosti $\mu_F(u)$



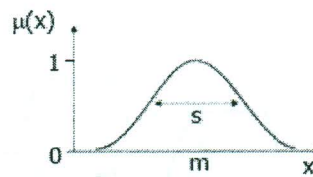
9

Funkce příslušnosti

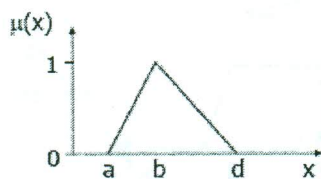
Trapezoid: $\langle a, b, c, d \rangle$



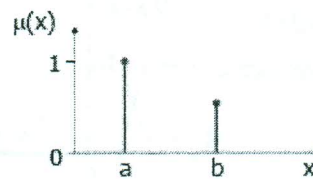
Gaussian: $N(m, s)$



Triangular: $\langle a, b, d \rangle$

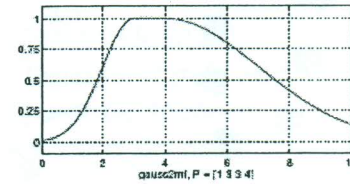
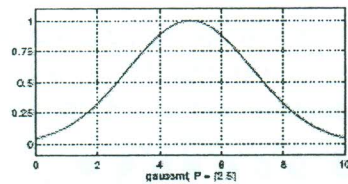
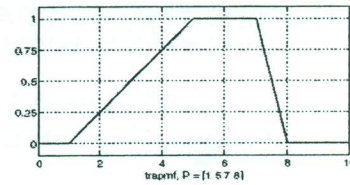
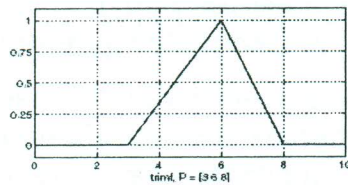


Singleton: $(a, 1)$ and $(b, 0.5)$



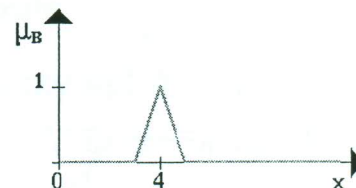
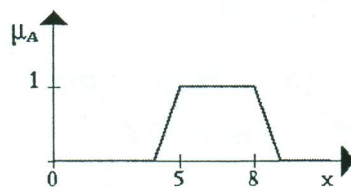
10

Funkce příslušnosti

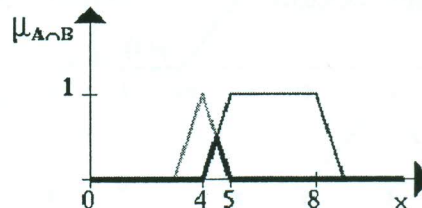


11

Operace s fuzzy množinami

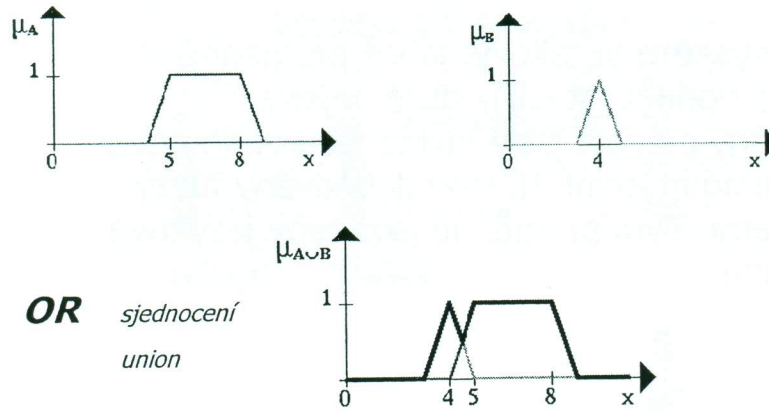


AND průnik
intersection



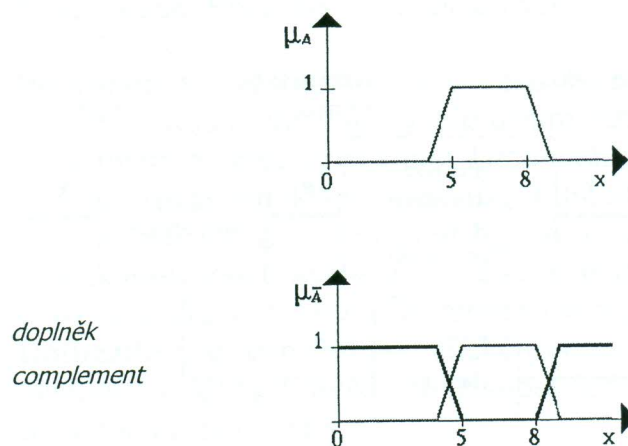
12

Operace s fuzzy množinami



13

Operace s fuzzy množinami



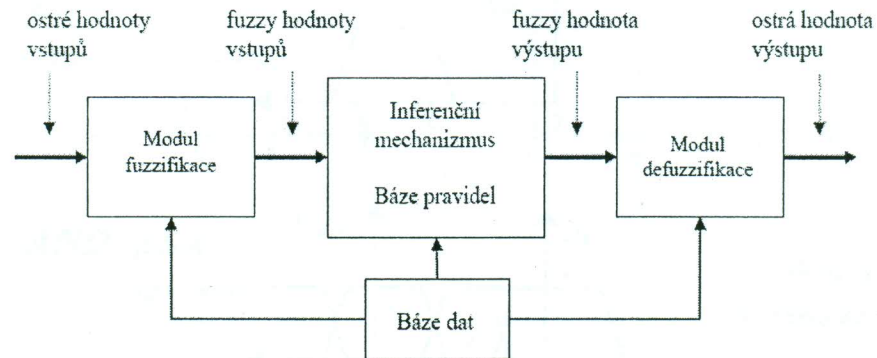
14

Fuzzy systém

Fuzzy systém je takový, jehož proměnné nabývají hodnot (stavů), které nejsou definovány ostrými čísly, nýbrž jsou definovány slovními hodnotami, tj. jsou definovány fuzzy množinami. Tyto proměnné jsou tedy jazykové proměnné.

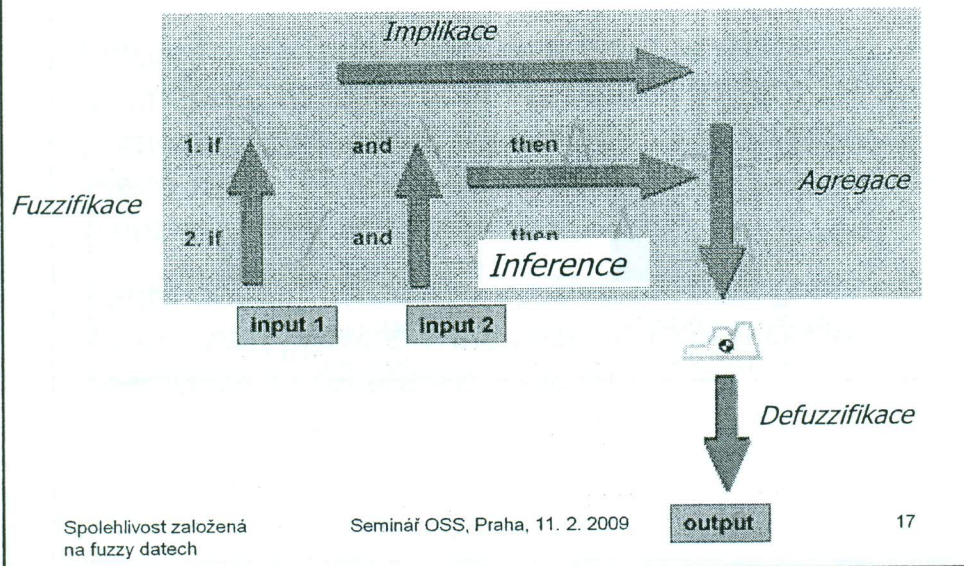
15

Struktura fuzzy systému



16

Interpretace Fuzzy systému



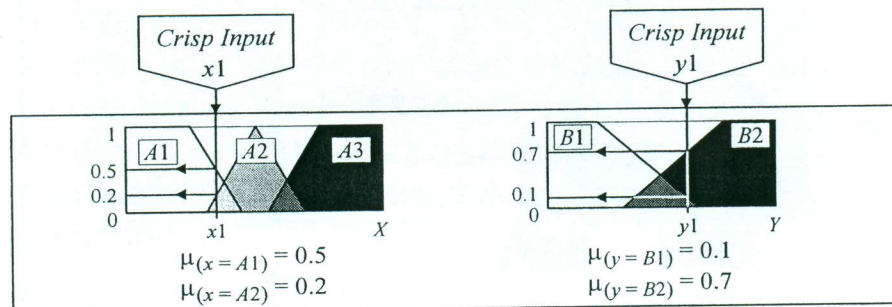
Fuzzy mechanismus

Fuzzifikace: Převodění aktuálních vstupů na stupně příslušnosti.

Inference: Fuzzy inference je proces, ve kterém se daným vstupům přiřazuje výstup užitím fuzzy logiky zpracováním množiny pravidel. Určení stupně příslušnosti předpokladu (část „IF“) a určení funkce příslušnosti výstupu (části „THEN“) pro každé pravidlo (implikace). Je-li pravidel více, následuje vytvoření celkové výstupní funkce příslušnosti (agregace).

Defuzzifikace: Výpočet numerické (ostré) hodnoty z výstupu výsledných funkcí příslušnosti jednotlivých pravidel, fuzzy množin.

Fuzzifikace



19

Přibližné usuzování

- Přibližné usuzování je založeno na vyhodnocování rozhodovacích pravidel. Pro fuzzy logiku je podmínka vyjádřena formou **implikace** dvou fuzzy výroků.

IF <fuzzy výrok> **THEN** <fuzzy výrok>

- Vstupní fuzzy výroková množina, kterou je často složený výrok (**antecedent**), kde jednotlivé části výroku jsou vázány logickými spojkami.
- Výstupní fuzzy výrok (**konsekvent**), odvozen ze vstupního výroku.

20

Přibližné usuzování

Vstupní a výstupní proměnné jsou jazykové proměnné, tj. jejich hodnoty jsou vyjádřeny pomocí fuzzy množin. Na základě vyhodnocení všech fuzzy pravidel (**implikace**) je potom nalezen výsledek přibližného úsudku.

Tento postup usuzování využívá *bázi dat (data base)*, *bázi pravidel (rule base)* a *inferenčního mechanismu (inference engine)*.

21

Implikace závislosti

Mamdani

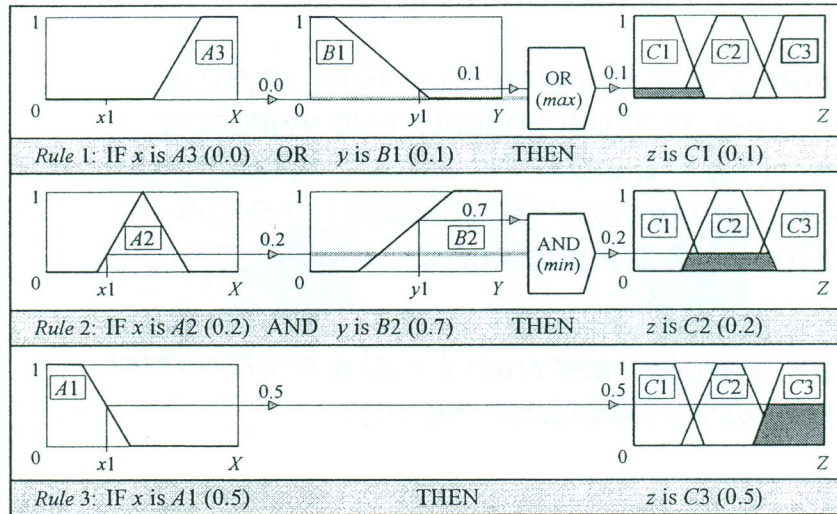
IF $(x_1 \text{ is } A_1)$ AND ... AND $(x_n \text{ is } A_n)$ **THEN** $y \text{ is } B$

Sugeno

IF $x \text{ is } A$ AND $y \text{ is } B$ **THEN** $z \text{ is } f(x,y)$

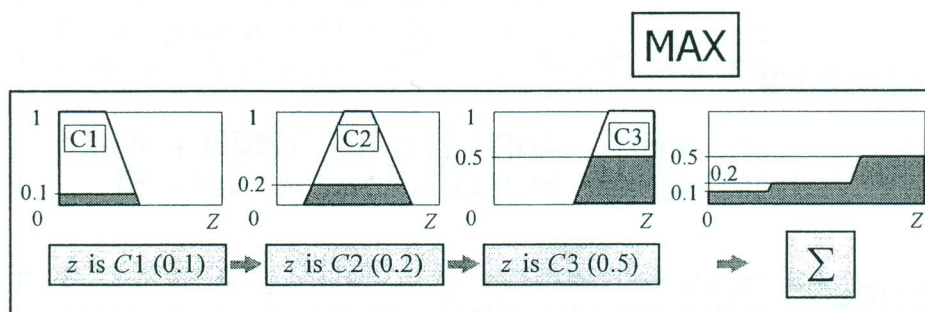
22

Implikace závislosti



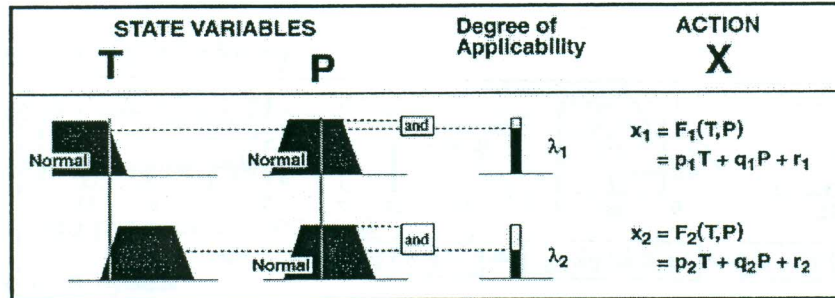
23

Agregace



24

Implikace závislosti Sugeno



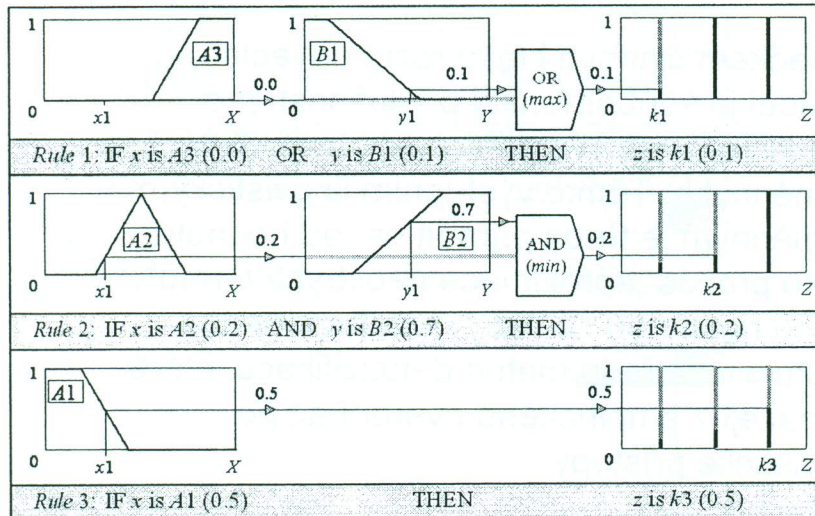
zero-order Sugeno fuzzy

$$x_1 = r_1$$

$$x_2 = r_2$$

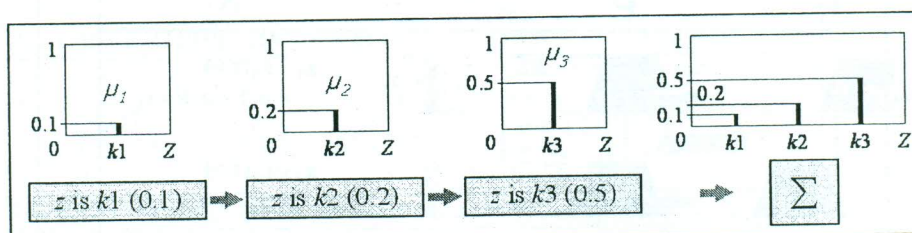
25

Implikace závislosti Sugeno (zero-order)



26

Agregace Sugeno



27

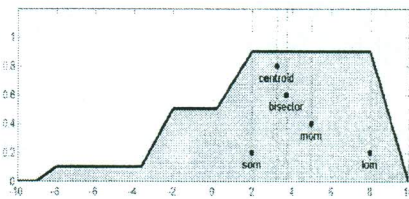
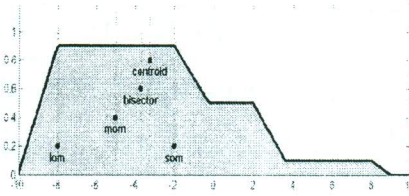
Defuzzifikace

Výsledkem činnosti bloku rozhodovacích pravidel je soubor funkcí příslušnosti pro jednotlivé termy výstupních lingvistických proměnných. Těmto výstupním lingvistickým proměnným je třeba přiřadit ostrou hodnotu. Tento proces „aproximace neostrých termů“ ostrou hodnotou se nazývá **defuzzifikace**. Existuje celá řada metod defuzzifikace, které vycházejí z empirického ověření až po heuristické přístupy.

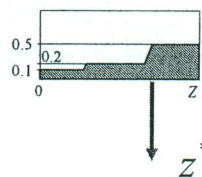
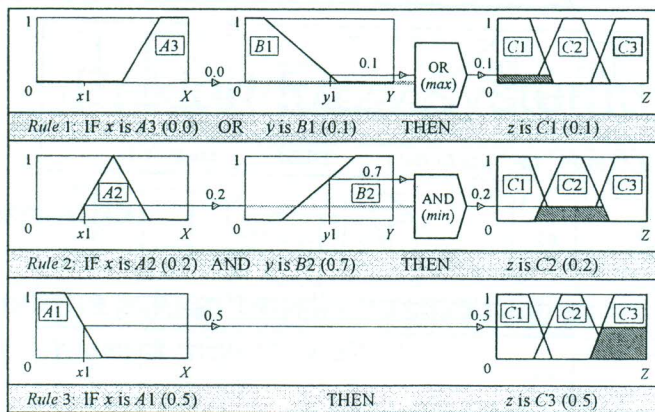
28

Defuzzifikace Mamdani

- Metoda těžiště plochy
- Metoda středu součtů
- Metoda prvního maxima
- Metoda posledního maxima
- Metoda výšek
-

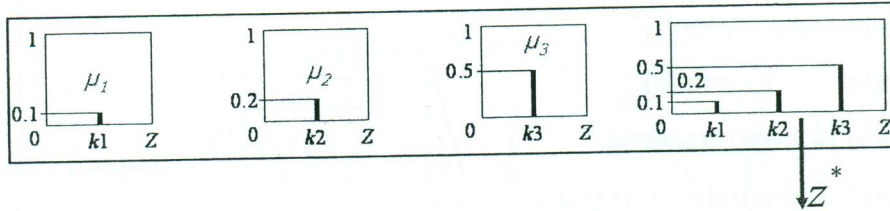


29



30

Defuzzifikace Sugeno



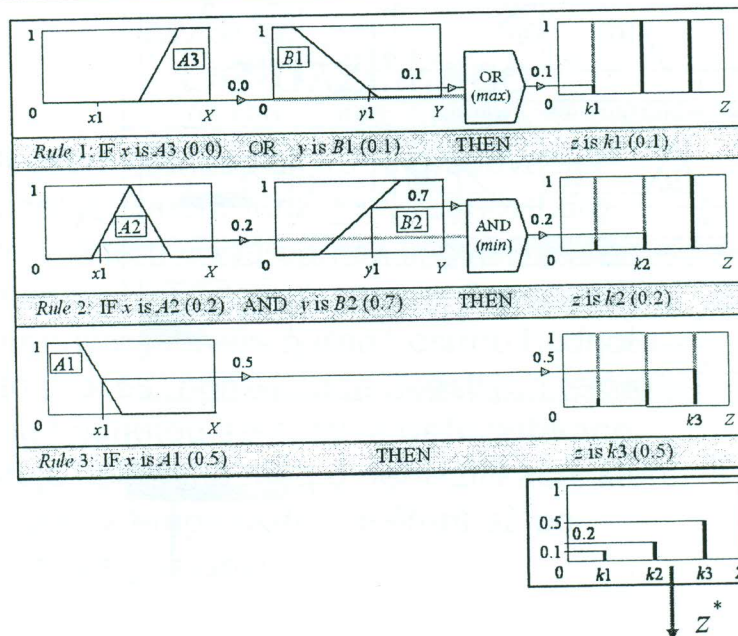
vážený součet
Weighted Sum

$$z^* = \mu_1 k_1 + \mu_2 k_2 + \mu_3 k_3$$

vážený průměr
Weighted Average

$$z^* = \frac{\mu_1 k_1 + \mu_2 k_2 + \mu_3 k_3}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3}$$

31



32

Činnost fuzzy expertního systému

- 1. krok Fuzzifikace ostrých vstupů
- 2. krok Aplikace fuzzy operátorů
- 3. krok Aplikace implikační metody
- 4. krok Agregace výstupů
- 5. krok Defuzzifikace

33

Příklad fuzzy systému

Spropitné.

Obsluha a kvalita jídla v restauraci je ohodnocena číslem 0 až 10.

Jaké by mělo být **spropitné**, jestliže předpokládáme, že jeho průměrná hodnota je 15 %? (min 5 %, max 25 %)

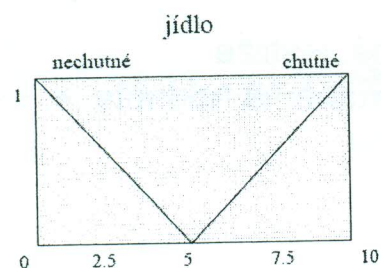
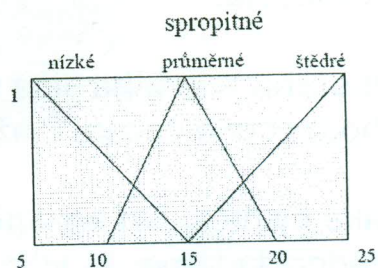
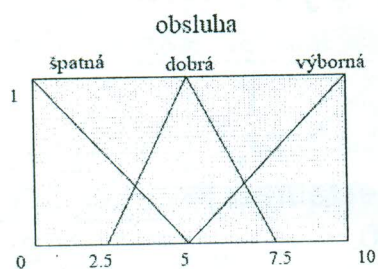
34

Funkce příslušnosti

obsluha	špatná 0 – 5	dobrá 2.5 – 7.5	výborná 5 – 10
jídlo	nechutné 0 – 5	chutné 5 – 10	
spropitné	nízké 5 – 15	průměrné 10 – 20	štědré 15 – 25

35

Funkce příslušnosti



36

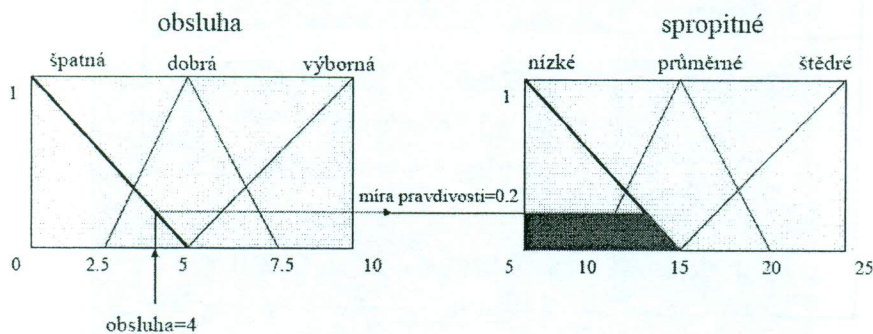
Pravidla

1. Jestliže obsluha je **špatná**, potom spropitné je **nízké**.
2. Jestliže obsluha je **dobrá**, potom spropitné je **průměrné**.
3. Jestliže obsluha je **výborná**, potom spropitné je **štědré**.
4. Jestliže jídlo je **nechutné**, potom spropitné je **nízké**.
5. Jestliže jídlo je **chutné**, potom spropitné je **štědré**.

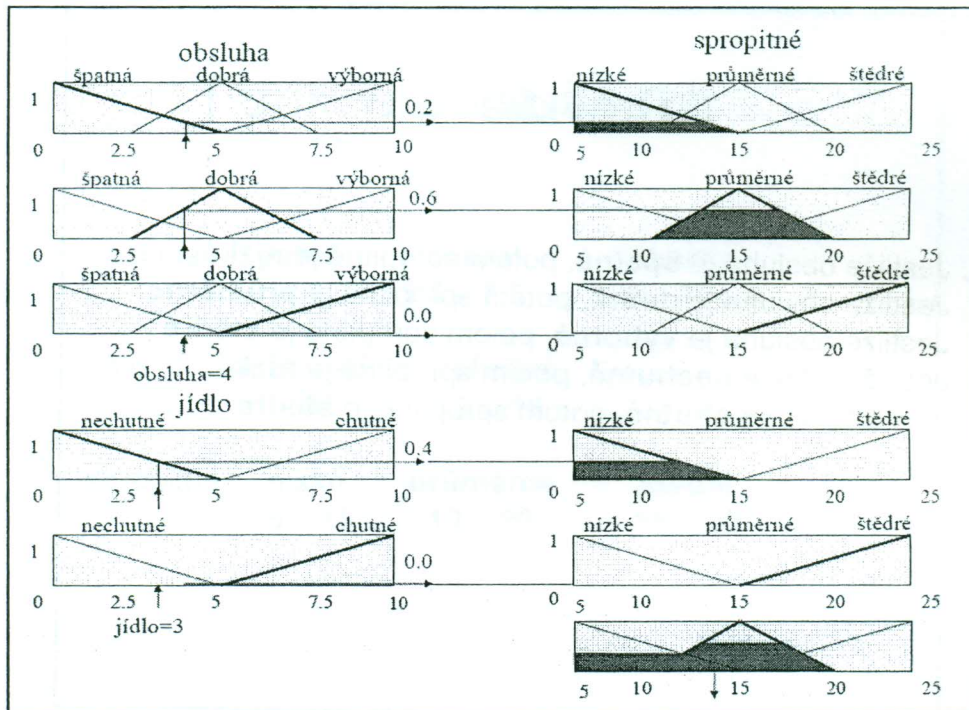
37

Zpracování pravidla

1. Jestliže obsluha je **špatná**, potom spropitné je **nízké**.



38

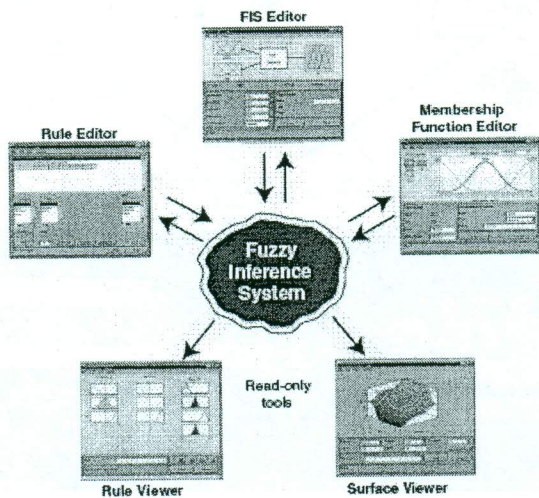


Pravidla

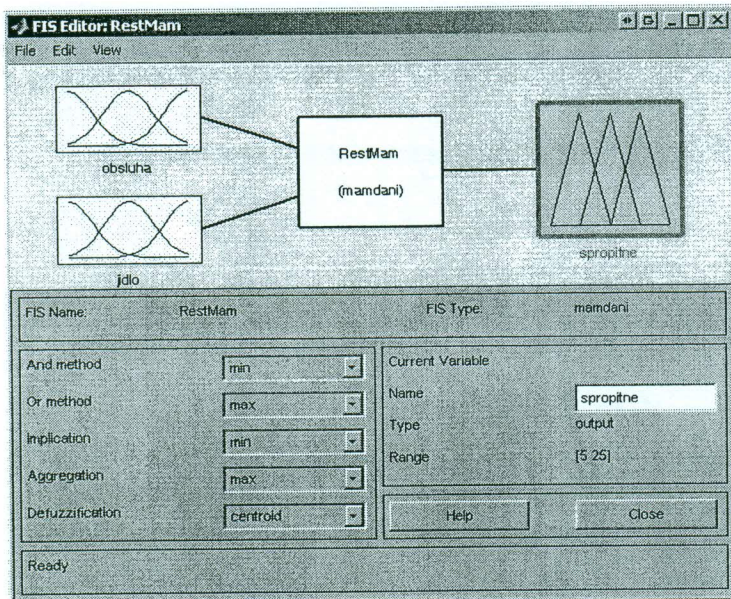
obsluha \ jídlo	nechutné	chutné
špatná	nizke	nizke
dobrá	nizke	stedre
výborná	prumerne	stedre



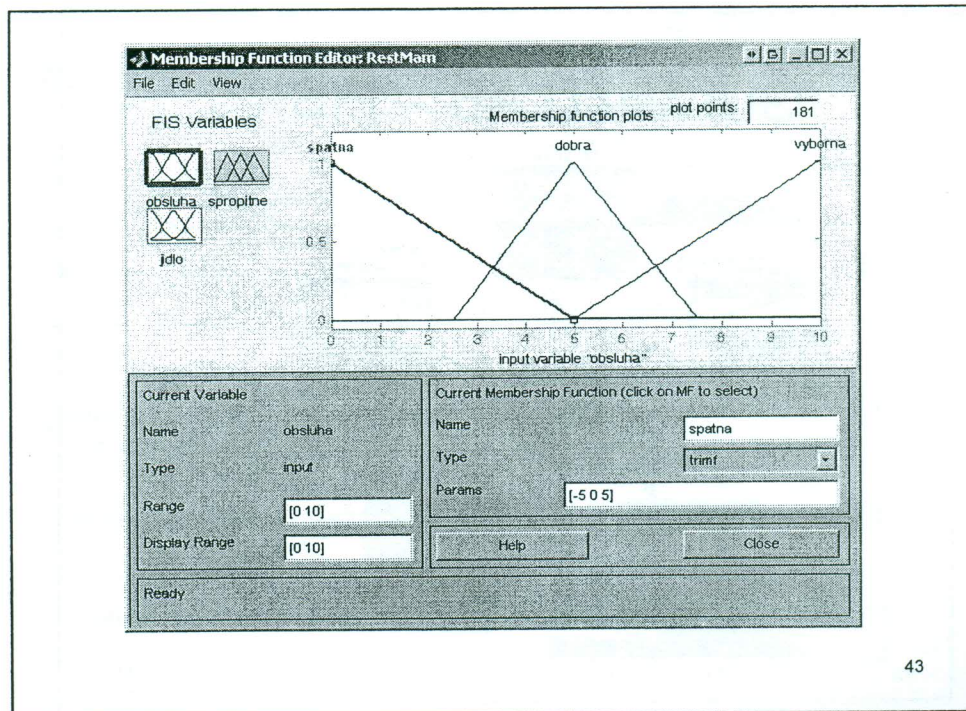
GUI MATLAB – FIS



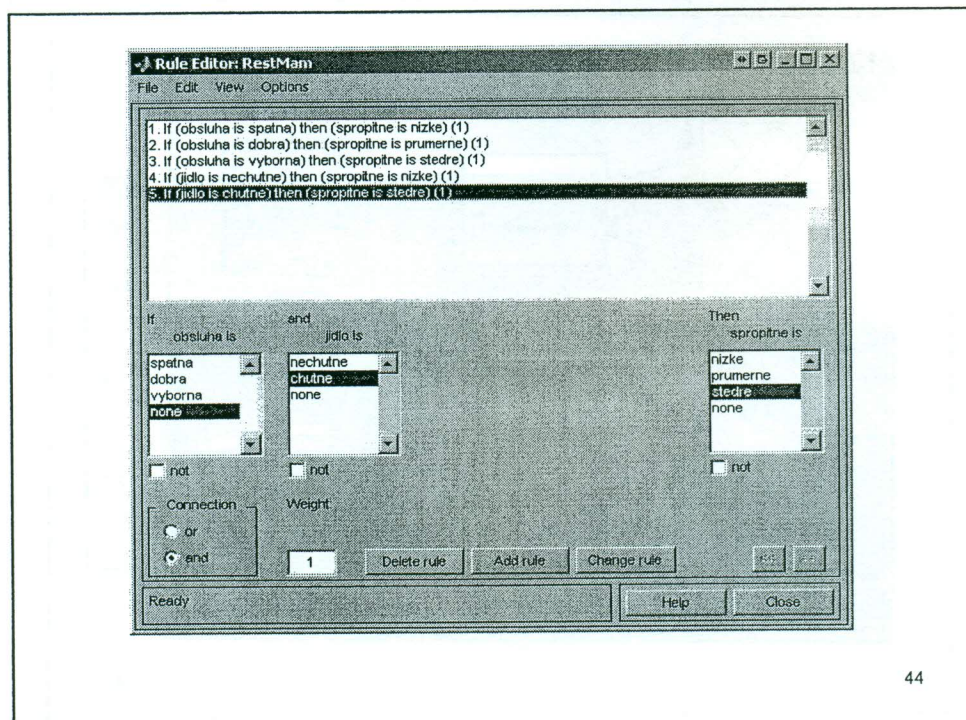
41



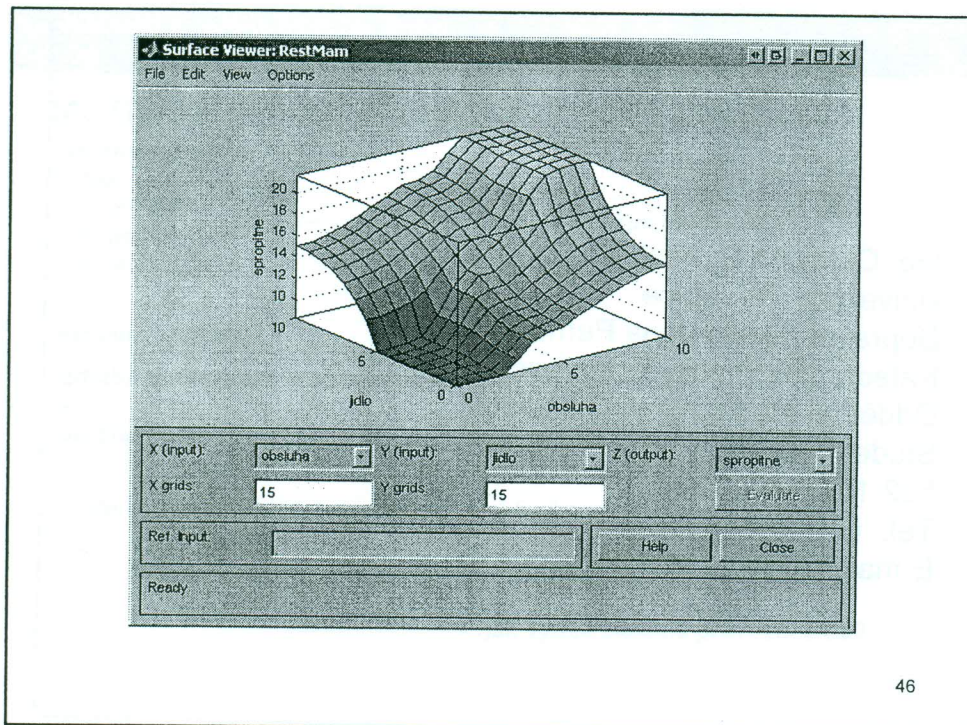
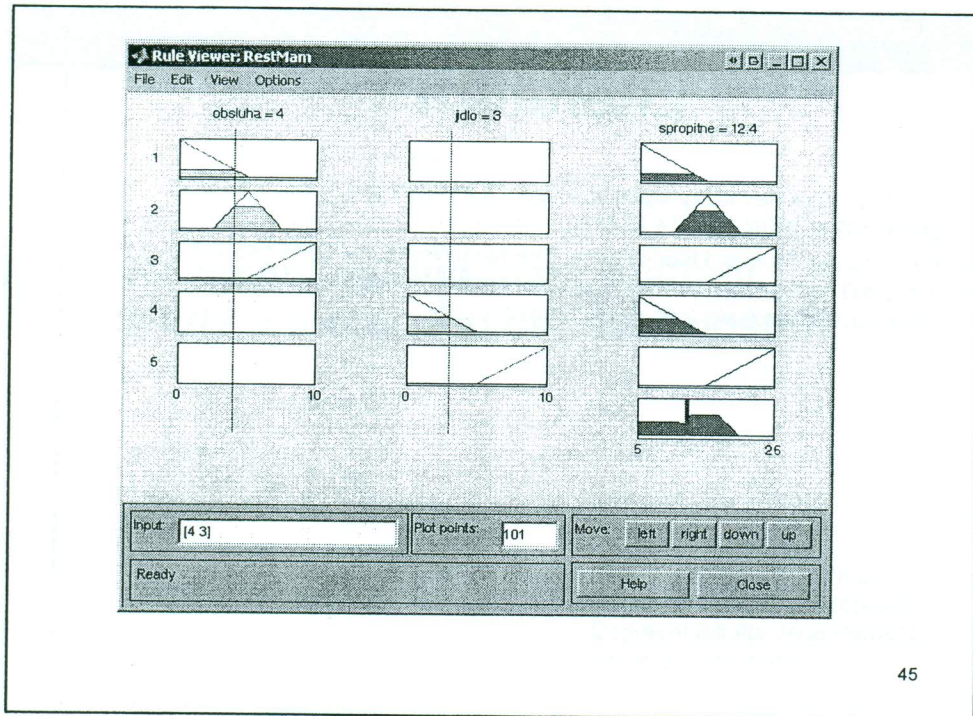
42



43



44





Literatura

- JURA, P.: *Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování*, Brno: VUTIAM, 2003. 132 s. ISBN 80-214-2261-0.
- Fuzzy Logic Toolbox User's Guide, The MathWorks, Inc., [online], 2008 [cit. 2009-1-05]. Dostupné na Internetu: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf>.

47

Ing. Oktavián Strádal, Ph.D.
Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra informatiky v dopravě
Oddělení modelování a simulace
Studentská 95
532 10 Pardubice
Tel.: (+420) 466036182
E-mail: oktavian.stradal@upce.cz

48

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

Kdy jsou vhodné fuzzy metody a kdy metody pravděpodobnostní?

Mgr. Věra Záhorová, Ph.D.
Katedra informatiky v dopravě
Dopravní fakulta Jana Pernera
Univerzita Pardubice

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

MOTIVACE:

údržba vyžaduje

- čas
- práci
- materiál
- finance, ...

→ kam je nejlépe investovat?

systemy údržby

údržba podle plánu – periodické prohlídky

x

údržba podle skutečného stavu – v praxi problém, často se řeší až stavy
vylučující další funkci zařízení...

... ale snažíme se hledat prostředky, které by ji umožnily

- ⇒ diagnostická zařízení – „alarmy“, protokoly chybových hlášení,...
- ⇒ sběr dat – SAP,...

→ jak využít získaná provozní data?

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

ÚLOHA:

údržba podle skutečného stavu – ze skupiny objektů musíme vybrat ty, kterým je třeba aktuálně věnovat pozornost

—————> úloha vícekriteriálního hodnocení a rozhodování

kritéria x charakteristiky

kritéria – takové charakteristiky objektů (variant), které představují hlediska hodnocení vzhledem k danému cíli hodnocení

charakteristiky

- měřitelné
- měřitelné s obtížemi
- neměřitelné

51

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

požadavky na kritéria

- úplnost souboru kritérií
- minimální počet kritérií
- soubor kritérií nesmí být redundantní (= nesmí obsahovat kritéria, jejichž hodnoty jsou funkcemi jiných kritérií obsažených v souboru)
- v ideálním případě by mezi jednotlivými kritérii neměly být ani vztahy částečné závislosti
- všechna kritéria musí mít jasně definovaný obsah (platí především u expertního hodnocení)
- všechna kritéria musí být měřitelná

52

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

měřitelnost kritérií

kvantitativní – diskrétní (počet poruch), spojitá (doba do poruchy)
kvalitativní (typ vozidla)

kardinální – lze s nimi provádět číselné operace, ty mají reálný význam;
lze určit o kolik je jedna hodnota větší než druhá; (doba do poruchy)
ordinální – lze je řadit; můžeme říci, která hodnota je víc, ale nelze určit o kolik
(lokomotiva, vagón)

ostrá – známe přesnou hodnotu

vágní, neostrá – hodnotě jsme schopni přisoudit určitou míru věrohodnosti

uvedené dělení nemusí být striktní, kvalitu kritéria posuzujeme především
z hlediska významu kritéria pro dílčí hodnocení a posléze celkového hodnocení

53

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

posuzování kritérií

předpokládejme kompletní systém kritérií

všechna jsou ostrá, kvantitativní a kardinální
je možné použít „klasické“ statistické metody
(odhady parametrů pravděpodobnostních funkcí, regresní metody,
vícerozměrné statistické metody založené na kovariančních maticích, ...)

všechna jsou ostrá, některá nebo všechna jsou pouze ordinální
možno použít tzv. neparametrické statistické metody
a metody vytvořené pro práci s ordinálními proměnnými
(tyto metody většinou pracují s pořadím hodnot)

některá nebo všechna jsou vágní
nutno použít metody, které umí zpracovat vágní data
v poslední době je na vzestupu užití fuzzy metod

54

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

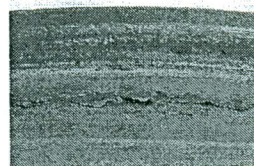
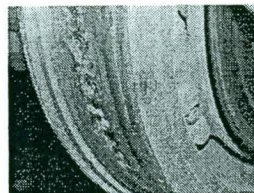
příklad

řešený problém:
porušení jízdní plochy železničního kola

otázka:
u kterých vozidel provést preventivní prohlídku

jaká data jsou k dispozici:
typ vozidla
kilometrický proběh vozidla
informace o trati, na které se vozidlo pohybovalo
okamžik vzniku vad a jejich charakter
informace o zvláštních událostech

použitý nástroj:
MATLAB



55

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

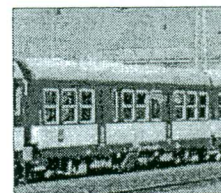
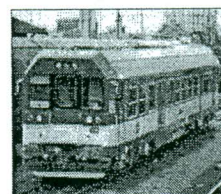
rozbor dat – vytvoření kritérií – volba metody

typ vozidla
043 – vložený vůz
843 – motorový vůz
943 – řídicí vůz

*v podstatě lze považovat za **ostré, kvalitativní, ordinální***

kilometrický proběh vozidla
od počátku provozu
od poslední prohlídky

*v podstatě lze považovat za **ostré, kvantitativní, kardinální***



Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

rozbor dat – vytvoření kritérií – volba metody (2)

informace o trati, na které se vozidlo pohybovalo
pomocí referenčních jakostních čísel, která vyjadřují
spád trati – stoupání, klesání
směrové poměry trati – poloměr a délka oblouků
– tzv. nedostatek převýšení

informace získány
z podélných profilů trati
z grafikonu oběhů vozidel

ale...

referenční jakostní čísla neříkají nic o aktuálním stavu trati
v obězích vozidel jsou nepravdivosti a je obtížné dohledat skutečný stav
v současné době se vozidla nacházejí jinde než v době sledování

*v podstatě lze považovat za **neostré***

57

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

rozbor dat – vytvoření kritérií – volba metody (3)

okamžik vzniku vad a jejich charakter
vada je odhalena až v okamžiku prohlídky (tedy neznáme skutečný okamžik vzniku)
typ vady – vytvořena metodika, ale různí hodnotitelé
⇒ hodnocení může být subjektivní
rozsah vady – neexistuje metodika hodnocení

*v podstatě lze považovat za **neostré***

informace o zvláštních událostech
v původním datovém souboru nejsou explicitně obsaženy jako proměnné, ale
lze je nalézt v poznámkách
zvláštní události mohou souviset s provozem vozidla, ale může to být i skutečnost,
že se vada u určitého vozidla vyskytuje opakovaně atd. ...

jak určit míru významnosti zvláštní události pro rozvoj vady?

*v podstatě lze považovat za **neostré***

58

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

rozbor dat – vytvoření kritérií – volba metody (4)

vstupy (kritéria) – z hlediska významu pro hodnocení
typ vozu – ostré, ordinální
proběh1 (od počátku provozu) – neostré
proběh2 (od poslední prohlídky) – neostré
trať – neostré
zvláštní událost – neostré

výstup

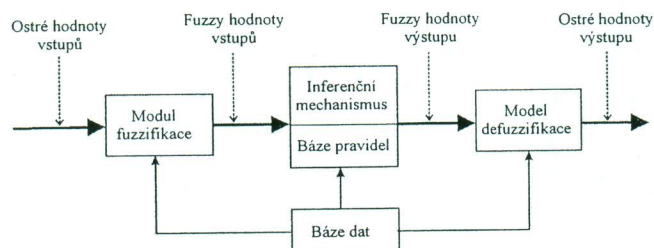
ohodnocení nutnosti prohlídky uvažovaného vozu
s ohledem na možnou existenci vady na jízdni ploše kole

vzhledem k tomu, že většinu hodnot kritérií můžeme považovat za neostré,
vytváříme systém, který využívá fuzzy metody

59

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

Struktura fuzzy systému



60

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

volba inferenčního mechanismu

fuzzy systém

Sugeno – výstup ve tvaru funkce vstupních proměnných

výhody:

efektivnější výpočty

dobře se uplatňuje v adaptivních systémech

je zajištěna spojitost výstupu

umí dobře pracovat se vstupy, které mají základ v matematické analýze
(diferenciální rovnice popisující systém)

Mamdani – výstup ve tvaru plochy

výhody:

je intuitivní

umí dobře pracovat se vstupy, které mají základ v empirii

pro řešení uvažovaného problému byl zvolen systém Mamdani

61

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

fuzzifikace = určení možných hodnot kritérií (proměnných) a stanovení
tvaru funkcí věrohodnosti

vstupní proměnná: typ vozu

ve skutečnosti:

není fuzzy; je kvalitativní, ordinální, diskrétní

možné hodnoty 043, 843, 943

62

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

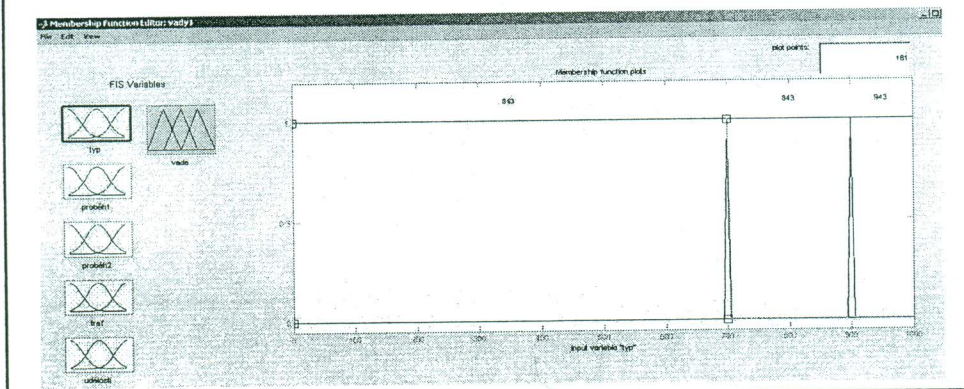
fuzzifikace (2)

vstupní proměnná: typ vozu

pro potřeby modelu:

v MATLABu - jako intervaly s věrohodností 1

předpokládám, že v souboru dat budou hodnoty této proměnné uloženy jako čísla,
proto volím rozsah proměnné 0 až 1000 (možno zvolit i jinak)



Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

fuzzifikace (3)

vstupní proměnná: proběh1

ve skutečnosti:

není fuzzy; je kvantitativní, kardinální, spojitá
možné hodnoty 0 až ∞

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

fuzzifikace (4)

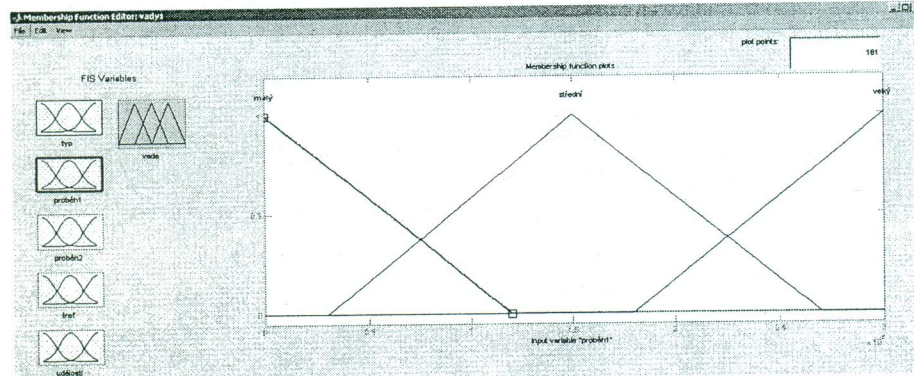
vstupní proměnná: proběh1

pro potřeby modelu:

z hlediska hodnocení vlivu této proměnné na rozvoj vad je fuzzy

v MATLABu - rozsah proměnné 0 až 300 000 km (vychází z předpisů ČD pro „dobu“ do generální opravy)

funkce věrohodnosti mohou být stanoveny na základě dat z pozorování výskytu vad



Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

fuzzifikace (5)

vstupní proměnná: proběh2

ve skutečnosti:

není fuzzy; je kvantitativní, kardinální, spojitá

možné hodnoty 0 až ∞

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

fuzzifikace (6)

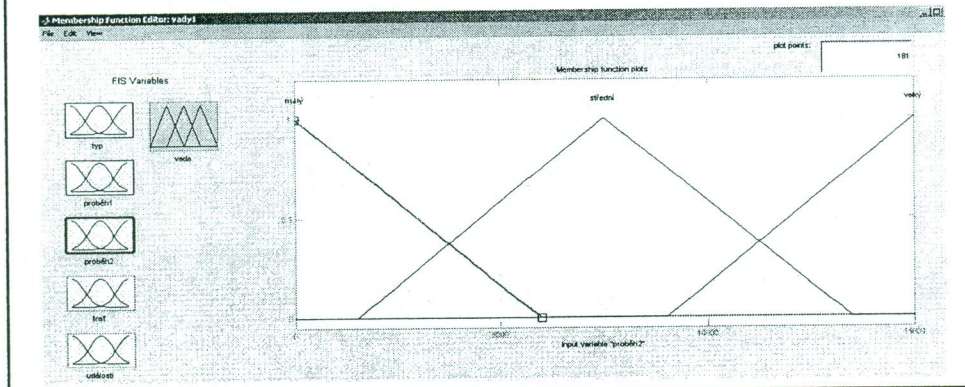
vstupní proměnná: proběh2

pro potřeby modelu:

z hlediska hodnocení vlivu této proměnné na rozvoj vad je fuzzy

v MATLABu - rozsah proměnné 0 až 15 000 km (vychází z předpisů ČD pro „dobu“ do tzv. malé prohlídky)

funkce věrohodnosti mohou být stanoveny na základě dat z pozorování výskytu vad



Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

fuzzifikace (7)

vstupní proměnná: trať

ve skutečnosti:

je neostrá, fuzzy – v podstatě nikdy nejsme schopní mít všechny informace, které by umožnily přesně kvantifikovat stav trati

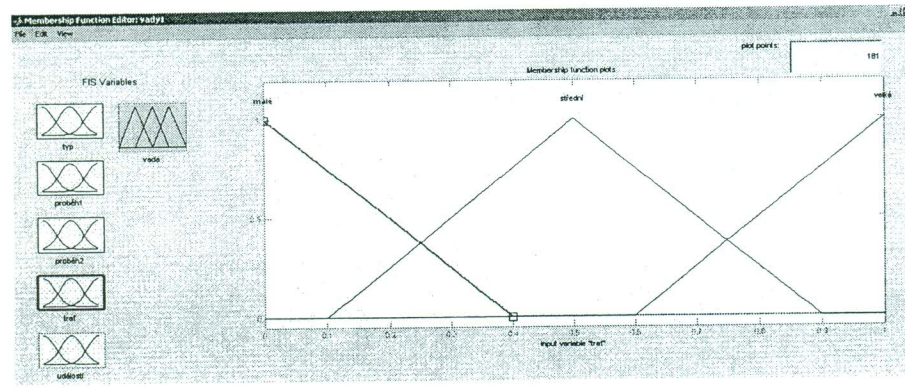
Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

fuzzifikace (8)

vstupní proměnná: trať

pro potřeby modelu:

hodnocení kvality trati a jejího vlivu na rozvoj vad vychází z expertního odhadu
v MATLABu - rozsah proměnné 0 až 1; funkce věrohodnosti mohou být částečně
stanoveny na základě dat z pozorování výskytu vad



Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

fuzzifikace (9)

vstupní proměnná: zvláštní událost

ve skutečnosti:

je neostrá, fuzzy – v podstatě nikdy nejsme schopní mít všechny informace, které by
umožnily přesně kvantifikovat význam události

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

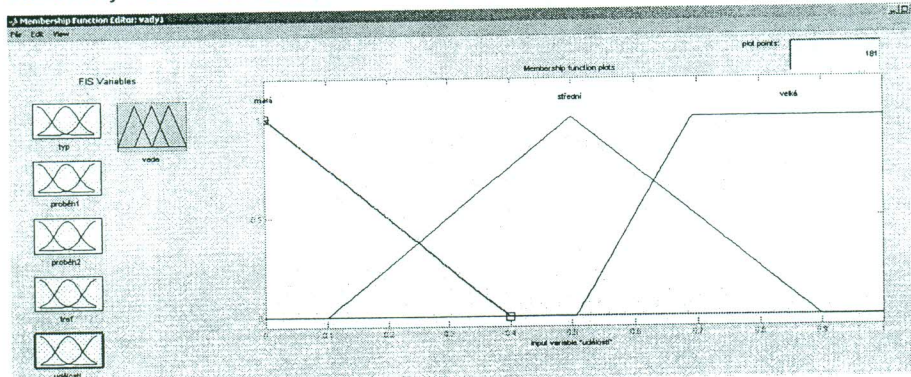
fuzzifikace (10)

vstupní proměnná: zvláštní událost

pro potřeby modelu:

hodnocení významu zvláštní události a jejího vlivu na rozvoj vad vychází z expertního odhadu

v MATLABu - rozsah proměnné 0 až 1; funkce věrohodnosti mohou být částečně stanoveny na základě dat z pozorování výskytu vad



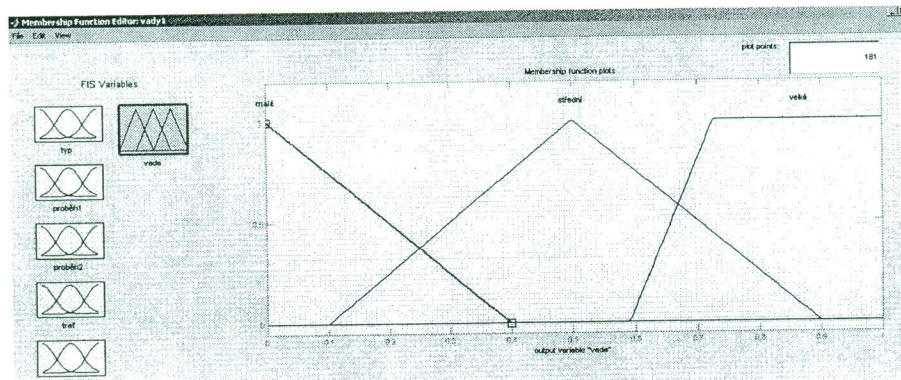
Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

fuzzifikace (11)

výstupní proměnná: ohodnocení nutnosti prohlídky

v MATLABu – lze volit rozsah výstupní proměnné, v tomto případě je 0 až 1

funkce věrohodnosti byly stanoveny intuitivně tak, aby systém dával použitelné výsledky



Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

vytvoření báze pravidel

báze pravidel

tvořena pravidly typu *if - then*
vychází z reálných dat nebo z empirie

generování fuzzy pravidel z dat

- fuzzifikace vstupních i výstupních proměnných
- generování pravidel typu *if-then* na základě dat
- redukce počtu pravidel vyřazením opakujících se shodných pravidel
- redukce počtu pravidel vyřazením méně obecných pravidel
- optimalizace báze pravidel (směrem k použitelnému výsledku fuzzy rozhodování)

vytváření báze pravidel na základě empirie

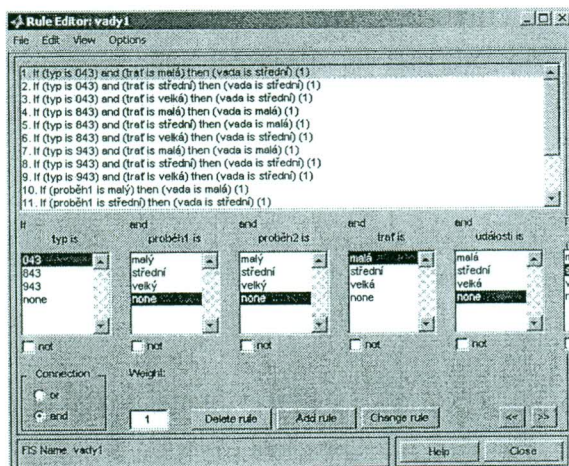
existují matematické metody objektivizace expertního hodnocení

73

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

vytvoření báze pravidel (2)

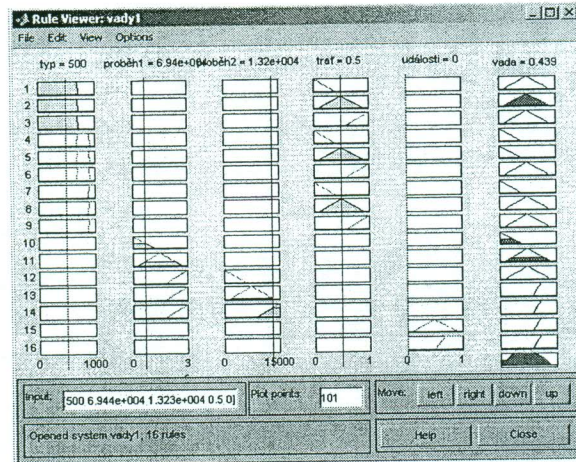
použitá báze pravidel vznikla částečně na základě statistické analýzy datového souboru, částečně na základě intuice, je tvořena celkem 16 pravidly



74

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

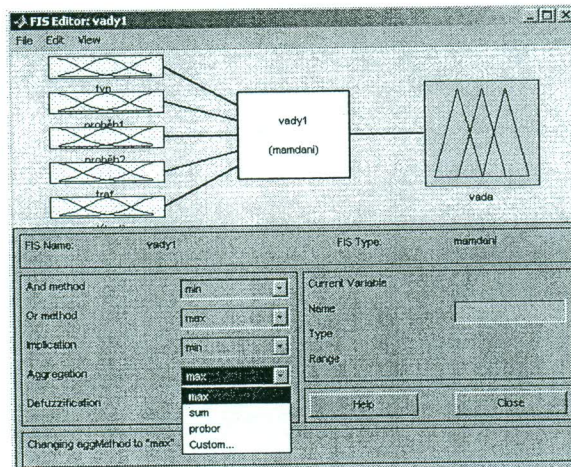
defuzzifikace



75

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

možnosti modifikace (při tvorbě systému nebyly využity)



76

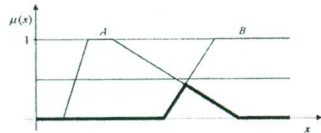
Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

možnosti modifikace operací

fuzzy konjunkce - and
(průnik fuzzy množin)

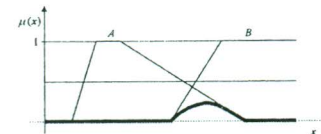
standardní - min

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



produktová

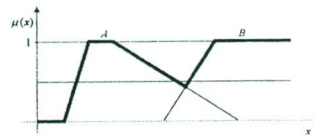
$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$$



fuzzy disjunkce or
(sjednocení fuzzy množin)

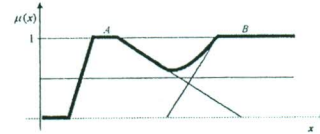
standardní - max

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



produktová

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$$

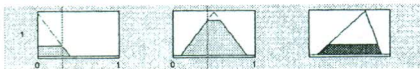


77

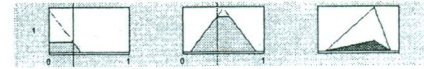
Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

možnosti modifikace implikace

minimum

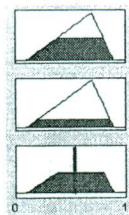


produktová

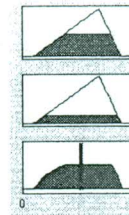


možnosti modifikace agregace

maximum



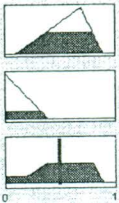
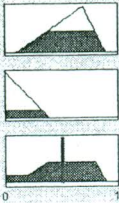
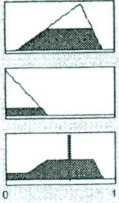
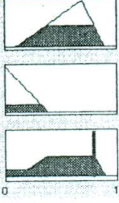
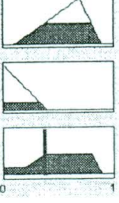




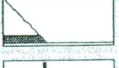
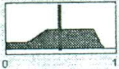
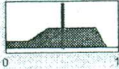
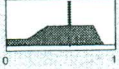


produktová



78

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

možnosti modifikace defuzzifikace výstupu

centroid (těžiště)	bisector (osa)	mom (průměr maxima)	lom (největší z maxima)	som (nejmenší z maxima)
				
				
				

79

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

ověření funkce fuzzy systému (tučně jsou označeny „rizikové“ hodnoty vstupních veličin)

typ vozidla	proběh od počátku provozu	proběh od poslední prohlídky	náročnost trati	zvláštní události - závažnost	hodnocení
043	63844	12637	0.8	0.0	0.44
043	191891	13569	0.3	0.0	0.51
043	30847	5737	0.8	0.2	0.45
043	244359	303	0.7	0.4	0.57
043	169004	511	0.3	0.0	0.50
043	141776	12855	0.9	0.0	0.50
043	206220	11788	0.2	0.0	0.56
043	192916	2996	0.9	1.0	0.61
043	83091	4502	0.8	0.0	0.46
043	79538	7557	0.9	0.0	0.45
843	63844	12637	0.8	0.0	0.39
843	191891	13569	0.3	0.8	0.57
843	30847	5737	0.8	0.7	0.57
843	244359	303	0.7	0.0	0.43
843	169004	511	0.3	0.0	0.37
843	141776	12855	0.9	0.0	0.50
843	206220	11788	0.2	0.0	0.46
843	192916	2996	0.9	1.0	0.61
843	83091	4502	0.8	0.0	0.42
843	79538	7557	0.9	0.0	0.45
943	63844	12637	0.8	0.0	0.44
943	191891	13569	0.3	0.0	0.48
943	30847	5737	0.8	0.3	0.49
943	244359	303	0.7	0.5	0.59
943	169004	511	0.3	0.0	0.46
943	141776	12855	0.9	0.0	0.50
943	206220	11788	0.2	0.0	0.50
943	192916	2996	0.9	0.9	0.61
943	83091	4502	0.8	0.0	0.46
943	79538	7557	0.9	1.0	0.57

80

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

ověření funkce fuzzy systému v MATLABu

vytvoření souboru *.fis – obsahuje model (fuzzy systém) vytvořený ve fuzzytoolboxu

zadání matice vstupních dat

použití příkazu *evalfis* – jednotlivé řádky ze vstupní matice ohodnotí prostřednictvím fuzzy systému uloženého v souboru *.fis

výstupem je sloupcový vektor hodnot, které můžeme považovat za míru nutnosti provést u daného vozu prohlídku

výsledek lze modifikovat změnou
použité báze pravidel
tvaru funkcí věrohodnosti na výsledek
operací použitých pro inferenci
způsobu defuzzifikace

81

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

kdy je vhodné použít fuzzy systémy?

pokud principiálně není možné získat data pro klasické statistické metody

pokud by získání takovýchto dat znamenalo neúměrné náklady a je možno namísto nich využít závěry plynoucí ze zkušeností lidí dobře obeznámených s „fungováním“ zkoumané reality

je třeba vzít v úvahu, že
kritériem správnosti použitého přístupu je víceméně pouze správná funkce vytvořeného modelu

jednotlivé kroky vycházejí často pouze z intuice, proto je mnohdy nelze „vědecky“ obhájit

výsledky vycházejí z vágních předpokladů, proto i získaná tvrzení jsou ve své podstatě vágní

fuzzy systém vytvořený v určitých podmínkách vyhovuje dokonale jen těmto podmínkám, jeho zobecnění je zpravidla obtížné

82



Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSČ), Praha, 11. 2. 2009

literatura:

NAVARA, M, OLŠÁK, P. *Základy fuzzy množin.*
Praha : ČVUT, 2002. 136 s. ISBN 80-01-02585-3.

JURA, P. *Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování.*
Brno : VUTIUM, 2003. 132 s. ISBN 80-214-2261-0.

TALAŠOVÁ, J. *Fuzzy metody vícekritériálního hodnocení a rozhodování.*
Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2003. 175 s. ISBN 80-244-0614-4.

83

Spolehlivost založená na fuzzy datech.
Seminář OSS (ČSČ), Praha, 11. 2. 2009

kontakt:

Mgr. Věra Záhorová, Ph.D.

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra informatiky v dopravě
Studentská 95
532 10 Pardubice

tel.: (+420) 466 036 476
E-mail: vera.zahorova@upce.cz

84

Využití fuzzy množin při posuzování spolehlivosti stavebních konstrukcí

Prof. Ing. Zdeněk Kala, Ph.D
Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební
Ústav stavební mechaniky

85

Osnova

- Mezní stavy stavebních konstrukcí
- Spolehlivost stavebních konstrukcí
- Prokazování spolehlivosti konstrukcí
- Praviděpodobnostní metody
- Metoda dílčích součinitelů
- Fuzzy praviděpodobnostní analýza spolehlivosti
- Expertní systémy

86

Mezní stavy stavebních konstrukcí

Mezní stavy - stavy při jejichž překročení ztrácí konstrukce schopnost plnit funkční požadavky.

- Mezní stavy únosnosti
- Mezní stavy použitelnosti

Spolehlivost - vlastnost (pravděpodobnost) konstrukce plnit předpokládané funkce během stanovené doby životnosti za určitých podmínek.

- Pravděpodobnost poruchy P_f je nejdůležitější a objektivní míra spolehlivosti konstrukce.
- Podmínka spolehlivosti \Rightarrow rezerva Z

$$F < R \Rightarrow Z = R - F > 0$$

- odolnost konstrukce R
- účinek zatížení F

87

Prokazování spolehlivosti stavebních konstrukcí

Pravděpodobnostní metody

$$P_f = P(R < F) < P_{f,t}$$

- Nejistoty v definici funkce mezního stavu
- Nejistoty teoretických modelů základních náhodných veličin a jejich korelací
- Vysoká numerická náročnost numerických simulačních metod

Metoda dílčích součinitelů (polopravděpodobnostní metoda)

$$F_d < R_d \quad \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k \leq \frac{R_k}{\gamma_M}$$

- | | |
|--|---|
| • Charakteristické hodnoty | • Návrhové hodnoty |
| - Stálé zatížení G_k (střední hodnota) | - $G_d = G_k \gamma_G$, $Q_d = Q_k \gamma_Q$ |
| - Nahodilé zatížení Q_k (95% kvantil) | - $R_d = R_k / \gamma_M$ |
| - Vlastnosti materiálů ($f_{y,k}$ 5% kvantil) | - $\gamma_G, \gamma_Q, \psi_i$ jsou závislé na úrovni spolehlivosti $P_{f,t}$ |
| - Vlastnosti rozměrů (nominální hodnoty) | |

88

Fuzzy pravděpodobnostní analýza spolehlivosti

Rezerva spolehlivosti: $Z = K_R R - K_F F > 0$

Pravděpodobnostní analýza metodou Monte Carlo

- Základní veličiny
 - Zatížení G , Q a parametr δ
 - Materiálové vlastnosti f_y , E
 - Geometrie h , b , t_1 , t_2 , y_1
- Výsledné veličiny
 - Účinek zatížení $F = G + Q$
 - Únosnost R (nelineární MKP)

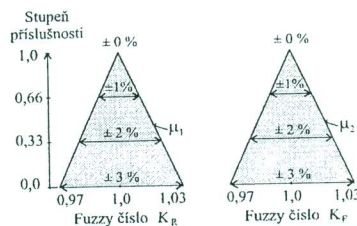
Fuzzy analýza pravděpodobnosti poruchy P_f

• $P_f = P(K_R R < K_F F) < P_{f,t}$

• Obecný princip rozšíření

$$\mu_{P_f}(K_R, K_F) = \bigvee_{P_f} (\mu_1(K_R) \wedge \mu_2(K_F))$$

α -řezy: $\mu \in \{1, 0, 0,66, 0,33, 0\}$



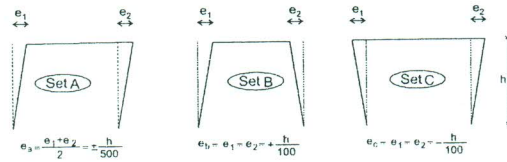
89

Imperfekce ocelových konstrukcí

1. Geometrické odchylky: počáteční zakřivení osy prutu, excentricita působiště zatížení, nedodržení teoretického uspořádání průřezu (tolerance rozměrů a tvaru příčného řezu) apod.
2. Strukturální nedokonalosti: disperze mechanických vlastností materiálu (nehomogenita materiálu projevující se rozptylem hodnot meze kluzu, meze pevnosti, modulu pružnosti aj.), počáteční stav napětí (vlastní pnutí jako důsledek válcování, svařování, rovnání a jiných technologických výrobních procesů).
3. Konstrukční imperfekce: nedokonalosti v provedení styků, přípojů, uložení a jiných konstrukčních detailů, projevující se ve srovnání s teoretickými předpoklady zaváděnými při řešení idealizované soustavy v odchylkách působení skutečného nosného systému.

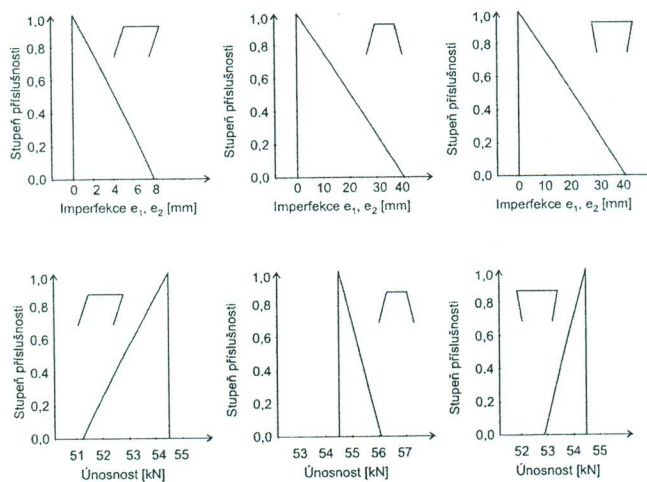
90

Fuzzy neurčitost systémových imperfekcí



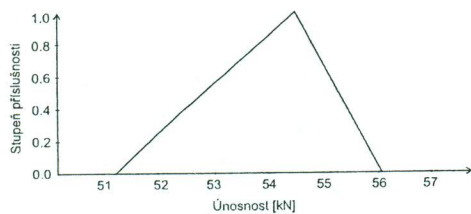
91

Fuzzy analýza mezního stavu únosnosti



92

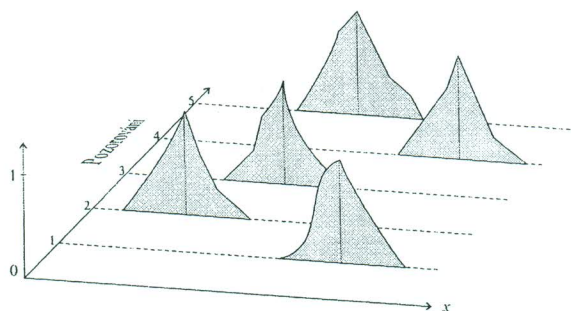
Fuzzy analýza mezního stavu únosnosti



- Geometricky nelineární výpočtový model MKP
- Fuzzy neurčitost vstupních systémových imperfekcí

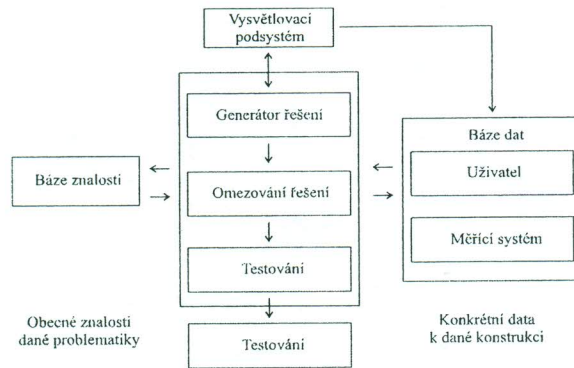
93

Fuzzy náhodné veličiny



94

Expertní systémy

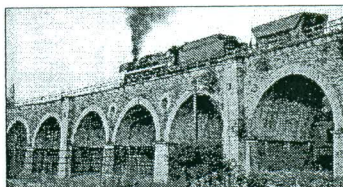
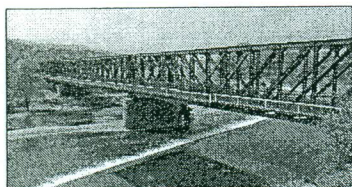


95

Poděkování

*Příspěvek vznikl v rámci řešení úloh projektu
GAČR 103/07/1067.*

96

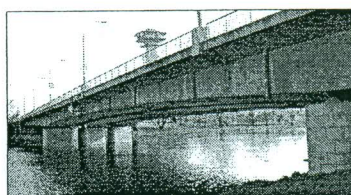


Hodnocení stavu mostních objektů s použitím fuzzy metod

Jaroslav Menčík¹ a Petr Rudolf²

1 - Univerzita Pardubice (Dopravní fakulta Jana Pernera)
+ grant GAČR 103/08/1340

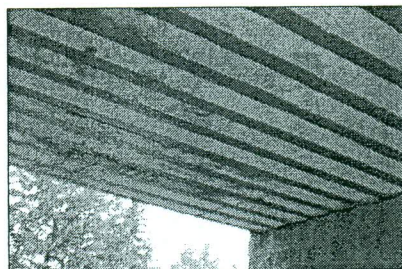
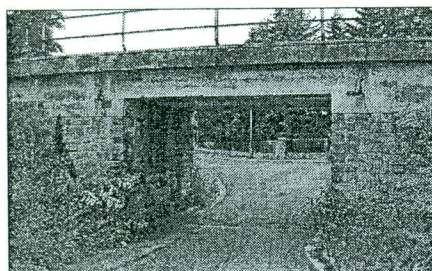
2 - Správa železniční dopravní cesty
(Ředitelství Praha, Odbor tratového hospodářství)



97

Osnova přednášky

- 1) Základní pojmy
- 2) Mostní informační systémy
- 3) Hodnocení stavu mostů
- 4) Základy fuzzy logiky
- 5) Použití fuzzy logiky – jednoduché případy (... Excel)
- 6) Příklad aplikace – hodnocení stavu mostního objektu
- 7) Řešení složitějších fuzzy problémů (... MATLAB)
- 8) Postup aplikace fuzzy metod na hodnocení různých objektů
- 9) Použití umělých neuronových sítí
- 10) Shrnutí



Základní pojmy

- **Spolehlivostí** objektu (mostu, konstrukce, prvku atd.) se rozumí jeho schopnost plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných podmínkách a čase.
- Spolehlivost objektu představuje *souhrnné* označení pro jeho **bezporuchovost, životnost, udržitelnost a bezpečnost**.
- Základním **kvantitativním** parametrem pro hodnocení **spolehlivosti a bezpečnosti** mostního objektu je jeho **zatížitelnost**.
- Pojmem **zatížitelnost mostu pozemních komunikací** se rozumí největší okamžitá celková hmotnost každého z vozidel, jejichž jízdu lze na mostě dovolit za daných podmínek, kterými mohou být seskupení I a II, 4-nápravové vozidlo nebo zvláštní souprava.
- Pojmem **zatížitelnost mostu drážních komunikací** se rozumí poměr rezervy únosnosti pro nahodilé krátkodobé zatížení k účinkům smluvního nahodilého krátkodobého zatížení, kterým je zpravidla model zatěžovacího vlaku UIC 71.

99

Mostní informační systémy

V České republice i v jiných státech existují velké počty mostů (desítky tisíc). Jejich celková hodnota i náklady na opravy a rekonstrukce jsou obrovské. Je proto snaha **racionalizovat hospodaření s mosty**.

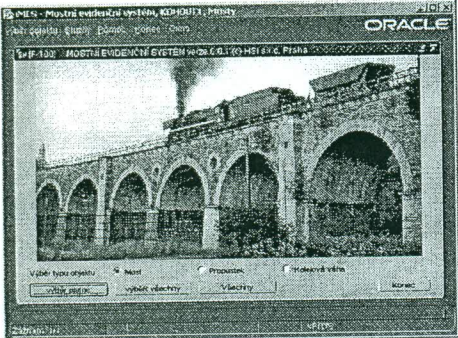
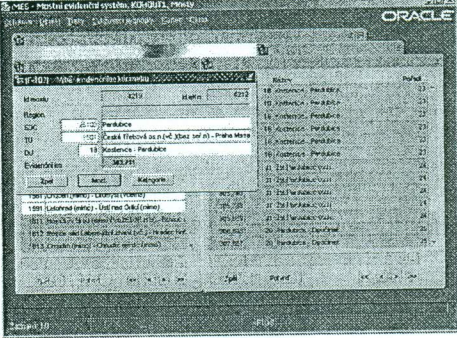
Základem je **evidence** všech mostních objektů a podstatných údajů o nich, včetně údajů o jejich stavu. K tomuto účelu byly vytvořeny různé **informační systémy** a **systémy pro správu mostů** (Bridge Management Systems).

- Například u Českých drah (ČD) se postupem času vytvořil mostní informační systém, který je nyní provozovaný Správou železniční dopravní cesty (SŽDC) jako Informační systém MES. Jeho části tvoří:
 - *Mostní evidenční systém,*
 - *Mostní expertní systém* (označovaný názvem *Casandra*),
 - *Systém pro podrobné prohlídky* (revize),
 - *Manažerské systémy.*
- V současné době IS MES zahrnuje údaje o 3 typech objektů:
 1. železniční mosty,
 2. železniční propustky a
 3. kolejové mostní váhy.

100

„SPOLEHLIVOST ZALOŽENÁ NA FUZZY DATECH“ – seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

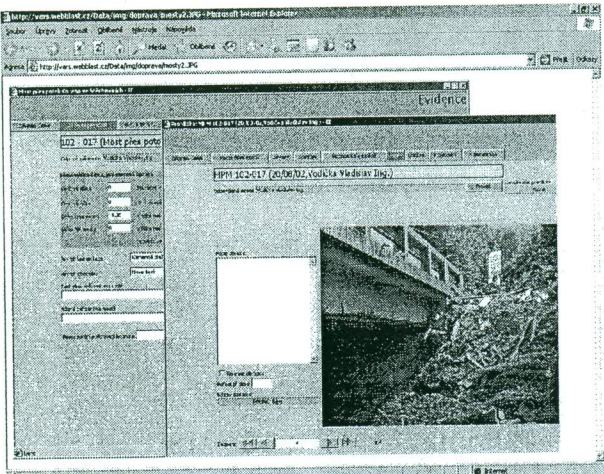
Mostní evidenční systém SŽDC (celkem 6 900 mostů)

101

„SPOLEHLIVOST ZALOŽENÁ NA FUZZY DATECH“ – seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

System hospodaření s mosty pozemních komunikací ČR



102

Hodnocení stavu mostů

O provozu a opravách mostů se rozhoduje na základě výsledku periodicky prováděných hodnocení. Tato hodnocení vycházejí z prohlídek a z posouzení podle více hledisek (viz dále). Různí provozovatelé mostů užívají různé systémy hodnocení.

Hodnocení stavu železničních mostů SŽDC

Provádí je mostní správce při prohlídce podle svého kvalifikovaného odhadu. Most je zařazen do jedné ze tří kategorií podle předpisu SŽDC (ČD) S5 Správa mostních objektů.

Stupeň	Stav	Kritéria
1	dobrý	mostní objekt vyžaduje jen běžnou údržbu
2	vyhovující	mostní objekt vyžaduje opravu přesahující rámec běžné údržby, popř. i výměnu některých částí, avšak závady neohrožují bezprostředně bezpečnost provozu
3	nevyhovující	mostní objekt vyžaduje úplnou přestavbu, přestavbu podpěr nebo výměnu nosné konstrukce, popř. i jen opravu nebo výměnu některých částí, jejichž stav bezprostředně ohrožuje bezpečnost provozu

103

Klasifikace stavu železničních mostních objektů ve Slovenské republice (ŽSR)

- Hodnocení stavu je končí zařazením hodnoceného mostního objektu do 5-stupňové klasifikace podle následující tabulky.

Klasifikace	Hodnocení	Kritéria
1	bezchybný	parametry mostního objektu odpovídají současným návrhovým parametrům a jeho technický stav je bezchybný
2	dobrý	mostní objekt nevykazuje poruchy prokazatelně ovlivňující momentální zatížitelnost
3	uspokojivý	mostní objekt vykazuje nedostatky ovlivňující momentální zatížitelnost bez vlivu na změnu přechodnosti kolejových vozidel
4	špatný	mostní objekt vykazuje nedostatky ovlivňující zatížitelnost a také přechodnost kolejových vozidel do té míry, že jeho zbytková životnost je v rozsahu od 3 do méně než 10 let
5	havarijní	mostní objekt vykazuje závažné nedostatky s výrazným dopadem na zatížitelnost a přechodnost kolejových vozidel do té míry, že jeho zbytková životnost je nižší než 3 roky

104

Klasifikace stavu dálničních a silničních mostů ČR

- Hodnocení stavu mostního objektu provádí mostní správce při prohlídce dle svého odhadu do 7-stupňové klasifikace podle tabulky z normy ČSN 73 6221 Prohlídky mostů pozemních komunikací.

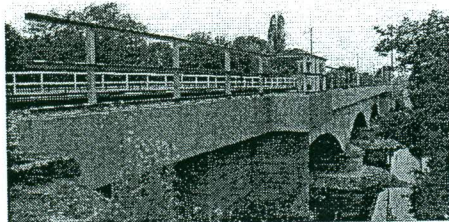
Stupeň	Stav	Kritéria
I	bezvadný	bez jakýchkoliv zjevných nebo známých skrytých vad
II	velmi dobrý	pouze vzhledové vady, které neovlivní zatížitelnost (např. ...)
III	dobrý	větší vady, které ale neovlivňují zatížitelnost (např. ...)
IV	uspokojivý	vady a poruchy, nemající okamžitý nepříznivý vliv na zatížitelnost, které však mohou zatížitelnost v budoucnu ovlivnit (např. ...)
V	špatný	vady a poruchy, ovlivňující sice zatížitelnost, ale odstranitelné ještě bez větších zásahů (např. ...)
VI	velmi špatný	vady a poruchy, ovlivňující zatížitelnost a odstranitelné pouze velkou opravou zahrnující důležité části konstrukce (např. ...)
VII	havarijní	vady a poruchy, ovlivňující zatížitelnost takovou měrou, že vyžadují okamžitou nápravu pro odvrácení hrozící katastrofy, popř. uzavření mostu (např. ...)

105

System plynulé klasifikace stavu železničních mostních objektů v Polsku (PKP)

- Hodnocení stavu mostního objektu provádí systém výpočtem s použitím expertních nástrojů. Užívá se plynulá nebo diskretní 6-stupňová klasifikace podle následující tabulky.

Klasifikace	Hodnocení	Kritéria
5,0	bezchybný	technický stav mostního objektu shodný s projektem
0,0	havarijní	bezprostřední ohrožení mostního objektu havárií



106

Podklady pro hodnocení stavu mostní konstrukce

Při prohlídce mostního objektu je nutno hodnotit současně více věcí (stav mostní konstrukce, stav mostní římsy, chování při průjezdu vlaku aj.).

Popis a hodnocení je často verbální (slovní), např.:

- výztuž je na několika místech obnažená,
- nosné prvky jsou zrezivělé (málo, hodně...),
- v blízkosti středu druhého pole je příčná trhлина (délky asi 15 cm),
- na několika místech dochází k průsaku vody do nosné konstrukce,
- mostní ložiska jsou zablokovaná,
- chování mostu při průjezdu vlaku je neklidné...

Kvantitativní popsání všech těchto aspektů a proměření odpovídajících charakteristických veličin by bylo velice náročné a nákladné. Pro exaktní hodnocení by navíc musely být k dispozici ověřené matematické modely, vyjadřující, jaký vliv mají jednotlivé veličiny na únosnost a životnost.

Přijatelně dobré podklady pro rozhodování o dalším provozu a opravách (popř. o provedení podrobných měření a zkoušek) lze získat i na základě vizuální prohlídky a slovního hodnocení – s využitím znalostí a zkušeností hodnotitele – experta. Tak se to také dosud dělá.

Jako silný **podpůrný nástroj** v době počítačů při tom mohou sloužit **expertní systémy založené na FUZZY LOGICE.** 107

FUZZY LOGIKA

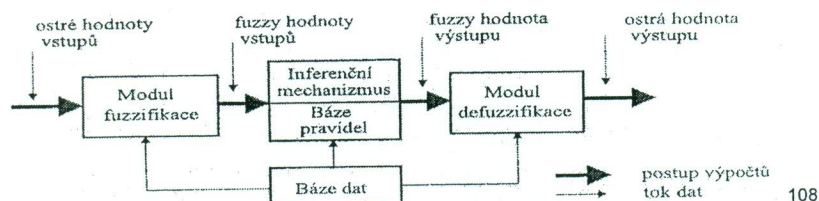
pracuje s veličinami definovanými **vágně**, resp. **slovně** (mírné opotřebení, malé trhliny, zvýšená teplota, asi 5 cm, na betonu jsou výkvěty, vysoký člověk).

Teorie fuzzy množin a fuzzy logiky vytvořila:

1. pojmy a pravidla pro popis jednotlivých fuzzy veličin, aby s nimi bylo možno lépe pracovat (např. míra příslušnosti a funkce příslušnosti),
2. pravidla pro práci s fuzzy veličinami,
3. pravidla pro interpretaci výsledků.

Práce s fuzzy logikou

3 základní kroky: (1) fuzzifikace, (2) fuzzy inference a (3) defuzzifikace.



Práce s fuzzy logikou (pokračování 1)

- **První krok – fuzzifikace** – znamená převedení reálných hodnot vstupních proměnných na fuzzy hodnoty jazykových proměnných. Na vstupu může být mnoho proměnných. Definování jazykových proměnných vychází ze základní lingvistické proměnné, např. u proměnné „poškození“ lze zvolit následující atributy: např. „žádné, velmi malé, malé, střední, velké, velmi velké, značné“. Obvykle se používá tři až sedmi atributů základní proměnné.
- **Druhý krok – fuzzy inference** – definuje chování systému pomocí pravidel typu <Jestliže>, <Pak> na jazykové úrovni. V těchto algoritmech se objevují podmínkové věty, kombinující atributy příslušných proměnných. Tyto věty mají známou formu z programovacích jazyků: <Jestliže> $Vstup_a <A> Vstup_b \dots, Vstup_x <Nebo> Vstup_y \dots$ <Pak> $Výstup_1$, tj. když (nastane stav) $Vstup_a$ a $Vstup_b \dots, Vstup_x$ nebo $Vstup_y \dots$, potom (je situace) $Výstup_1$. Tato pravidla si uživatel tvoří sám.

109

Práce s fuzzy logikou (pokračování 2)

- Pravidla ve fuzzy logice představují **expertní systém**. Každá kombinace atributů proměnných představuje jedno pravidlo. Pro každé pravidlo je třeba určit jeho váhu v systému, kterou lze v rámci průběhu optimalizace systému měnit. Výsledek systému závisí do značné míry na správném určení významu definovaných pravidel. Podobně jako pro část pravidla za <Jestliže> je třeba vybrat odpovídající atribut za částí <Pak>.
- Výsledkem druhého kroku (= fuzzy inference) je rovněž jazyková proměnná. V případě hodnocení stavu mohou mít atributy hodnotu např. bezvadný, dobrý, uspokojivý, špatný, havarijní atd., což může vést k výstupům jako opravu provést ano či ne.
- **Třetí krok – defuzzifikace** – znamená převedení fuzzy hodnoty výsledku ze druhého kroku zpět na reálné hodnoty výstupní proměnné, tak, aby slovně co nejlépe představovala výsledek fuzzy výpočtu. Při postupném zadávání údajů funguje systém s fuzzy logikou jako automat.

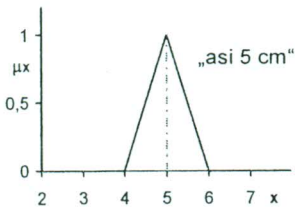
110

(1) FUZZIFIKACE = úprava vstupních veličin do fuzzy formátu

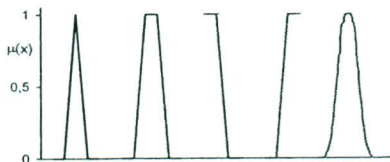
Zavádějí se pojmy **míra příslušnosti** a **funkce příslušnosti**

Míra příslušnosti μ – vyjadřuje, do jaké míry odpovídá konkrétní hodnota vyšetřované veličiny určitému označení („asi 5 cm“, „zvýšená teplota“).

Funkce příslušnosti $\mu(x)$



Existují různé funkce příslušnosti $\mu(x)$



Příslušnost může být popsána i slovně (tzv. jazykové proměnné). Například „riziko“: velmi nízké – nízké – střední – vysoké – velmi vysoké ... (5 stupňů)

nebo:

PB (positive big) – PM (positive medium) – PS (positive small) – Z (zero) – NS (negative small) – NM (negative medium) – NB (negative big) ... (7 stupňů, resp. atributů)

(I stav mostu bývá hodnocen v několikastupňové škále – viz dříve)¹¹¹

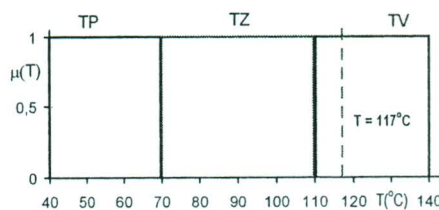
(1) FUZZIFIKACE (pokračování)

Standardní přístup k posuzování

např. teploty: (tj. s ostrými množinami)

Teplota: 40 – 70 °C je provozní.
70 – 110 °C je zvýšená.
110 – 140 °C je vysoká

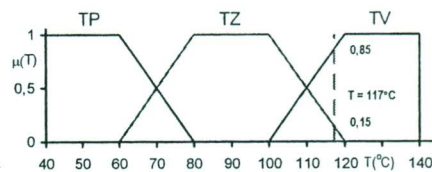
(TP – množina provozních teplot,
TZ – zvýšených, TV – vysokých)



Fuzzy vyjádření teploty T:

Určitou teplotu považujeme jednoznačně za provozní. O něco vyšší teplotu považujeme (ještě) jak za provozní, tak již (částečně) za zvýšenou, atd.

Míra příslušnosti vyjadřuje, nakolik „považujeme“ určitou teplotu za provozní, a nakolik za zvýšenou.



Například teplotu 117°C můžeme ještě v malé míře (15%) považovat za zvýšenou, ale spíše (85%) za vysokou.

(2) FUZZY INFERENCE – práce s fuzzy veličinami

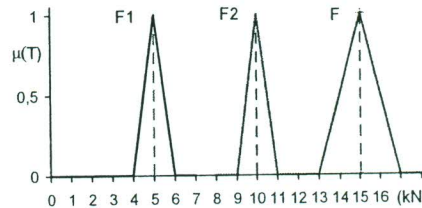
Z výchozích předpokladů se pomocí logických pravidel tvoří (fuzzy) závěr.

PŘÍKLAD 1: IF X = fuzzy 5 AND Y = fuzzy 10 THEN Z = fuzzy 15 .

PŘÍKLAD 2: IF X = MALÝ AND X = STŘEDNÍ AND... THEN Z = ...

Příklad operace agregace:

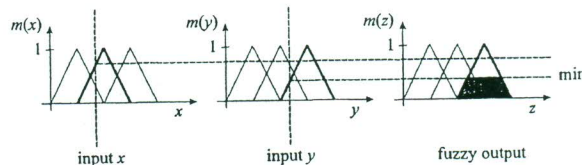
Na konstrukci působí břemeno F1 o velikosti asi 5 kN, a F2 (asi 10 kN). Jaké je celkové břemeno F? Obě veličiny mají fuzzy charakter. I výsledné zatížení bude fuzzy (asi 15 kN).



Příklad operace implikace:

„If x is mean and y is high, then z is high“

Definování takovýchto pravidel v konkrétním případě je úkol expertů.

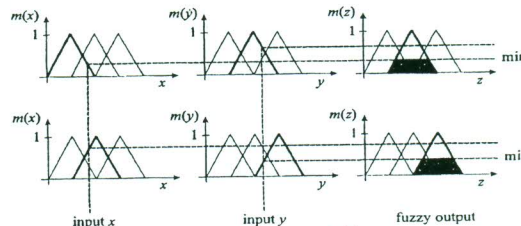


(2) FUZZY INFERENCE – pokračování

Příklad složitější implikace ze dvou pravidel podle Mamdaniho [5]:

- 1) „If x is low and y is mean, then z is mean“,
- 2) „If x is mean and y is high, then z is high“,

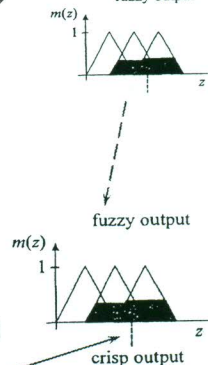
a výška příslušné části funkce příslušnosti veličiny z odpovídá nižší z obou funkcí příslušnosti pro x a y.



(3) DEFUZZIFIKACE

= úprava výstupní (fuzzy) informace do jednoznačného výroku.

Výsledná „ostrá“ (= crisp) hodnota se dostane různými způsoby – např. jako poloha (některého) maxima výsledné funkce příslušnosti, jako poloha těžiště apod. Ve složitějších případech je nutný vhodný SW.



„SPOLEHLIVOST ZALOŽENÁ NA FUZZY DATECH“ – seminář OSS (ČSJS), Praha, 11. 2. 2009

Posuzování stavu v jednodušších případech

Pracuje se s maticemi (transformační, stavovou a retransformační):

Popis transformační matice (přiřazuje atributy konkrétním hodnotám - např. u teploty)

A	V ₁ (teplota, °C)
1	30 – 50
2	50 – 70
3	70 – 90

Transformační matice (přiřazuje určitou „váhu“ jednotlivým atributům u veličin V₁, V₂, V₃...) – např. teplotě (V₁)

A	V ₁	V ₂	V ₃
1	0,6	0,8	0,6
2	0,4	0,5	0,5
3	0,2	0,1	0,4

Stavová matice (vyjadřuje, v jakém stavu se nacházejí jednotlivé veličiny)

A	V ₁	V ₂	V ₃
1	0	1	0
2	1	0	0
3	0	0	1

INFERENCE: (zde vznikne agregaci)

Celkové hodnocení (R) se získá jako skalární součin transformační matice a stavové matice:

$$R = (0,6 \times 0 + 0,4 \times 1 + 0,2 \times 0) + (0,8 \times 1 + 0,5 \times 0 + 0,1 \times 0) + (0,6 \times 0 + 0,5 \times 0 + 0,4 \times 1) = 1,6$$

Retransformační matice slouží k interpretaci výsledku:

A	Hodnota R	Stav
1	1,7 – 2,0	velmi dobrý
2	1,3 – 1,7	dobrý
3	0,9 – 1,3	přijatelný
4	0,7 – 0,9	nevyhovující

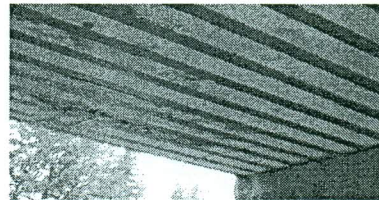
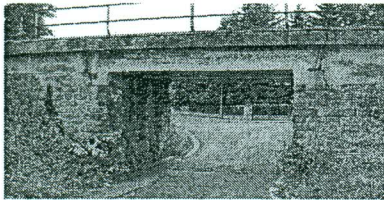
Pro jednoduché případy lze používat i Excel.

„SPOLEHLIVOST ZALOŽENÁ NA FUZZY DATECH“ – seminář OSS (ČSJS), Praha, 11. 2. 2009

Příklad jednodušší aplikace fuzzy logiky:

Hodnocení stavu železničního mostního objektu

Most	Hodnocení	Evid. km	Traťový úsek	Vžitý název	Správa dopravní cesty
Č. 7	2/2	0,656	I302	deska Chlumec	Hradec Králové



Výsledek prohlídky (hodnocení podle 4 kritérií):

1 – železobetonová deska, 2 - vodotěsná izolace, 3 - mostní římsa, 4 - chování při průjezdu vlaku)

Objekt	Stav desky	Stav izolace	Stav římsy	Chování
Č. 7	od spodu mezi I nosníky betonová omítka popraskaná, spodní hrany odloučené; I nosníky začínají korodovat; z obou čel betonová omítka vlasově popraskaná	poškozená, deska i opěry propouští vodu, tvoří se vápenné výluhy	vlevo nad opěrami vlasově praskliny po celé výšce, vpravo nad opěrou O 02 spodní hrana v délce 0,80 m opadá až na ocelovou výztuž	klidné

116

„SPOLEHLIVOST ZALOŽENÁ NA FUZZY DATECH“ – seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

Popis transformační matice hodnocení stavu **nosné konstrukce** vybraného typu mostního objektu. (Kritérium 1)

Atribut	Stav ocelobetonové desky z tuhými vložkami (7 atributů)
1	PB - od spodu betonová omítka nepopraskaná; ocelová výztuž neodkrytá, hrany nosníků neorezlé; z průčelí ochranný nátěr se neloupe, omítka nevzdutá;
2	PM - od spodu betonová omítka vlasově popraskaná; ocelová výztuž odkrytá v délce 0,30 m (nepodstatné), hrany nosníků mírně orezlé; z průčelí ochranný nátěr se začíná loupat, omítka mírně vzdutá, ve střední části neodpadlá;
3	PS - od spodu betonová omítka popraskaná, spodní hrany desky místy uražené; ocelová výztuž odkrytá v délce nad 0,30 m (podstatné), hrany nosníků středně orezlé; z průčelí ochranný nátěr se loupe, beton vlasově popraskaný, omítka mírně vzdutá;
4	Z - od spodu betonová omítka (mezi I nosníky) opadaná na několika místech, celková plocha do 3,00 m ² ; ocelová výztuž odkrytá v poloviční délce, od spodu I nosníky středně orezlé; z průčelí beton popraskaný, omítka středně vzdutá, ve střední části místy odpadá; ostatní omítky vzduté
5	NS - od spodu omítka vzdutá, odpadá na několika místech, celková plocha více než 3,00 m ² ; ocelová výztuž odkrytá v nadpoloviční délce, od spodu odkryté spodní pasy I nosníků silně rzivé (důlková rez do hl. až 3 mm); v průčelí místy beton zvětrává a drolí se do hl. 50 mm
6	NM - od spodu betonová omítka vzdutá, menšinou opadaná až na I nosníky, s mírným průsakem vody; spodní pasy I nosníků silně rzivé, nad úložnými prahy narůstá plátková rez; z průčelí betonová omítka popraskaná, ve střední části do 2/3 podélná vlasová prasklina, mezi I nosníky betonová omítka popraskaná a v rozsahu 4,00 m ² opadá
7	NB - od spodu betonová omítka vzdutá, většinou opadaná až na I nosníky, praskliny s patrnými průsaky a vápennými výluhami; spodní hrany všech I nosníků silně rzivé, oslabené 2 až 3 mm, narůstá plátková rez až 5 mm, v koncích narůstá plátková rez až 10 mm; z obou čel betonová omítka popraskaná, ve střední části do 2/3 podélná prasklina, v prasklinách vápencové výkvěty, pod římsou se beton vydroluje po celé délce do hl. až 60 mm;

117

„SPOLEHLIVOST ZALOŽENÁ NA FUZZY DATECH“ – seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

Popis transformační matice hodnocení stavu **nosné konstrukce** vybraného typu mostních objektů (kritérium 2 a 3)

Atribut	Stav vodotěsné izolace (5 atributů)
1	PB - dobrá, průsaky vody nezjištěné
2	PM PS - mírně poškozená, místy se mezi jednotlivými I nosníky desky objevuje mírný průsak vody
3	Z - středně poškozená, průsak vody zřejmý na polovině plochy desky
4	NS NM - silně poškozená, průsak vody zřejmý téměř všude v desce a mezi závěrnými zdmi a čely desky, tvoří se vápenné výluhy
5	NB - zcela poškozená, po celé ploše desky patrný silný průsak s vápennými krápníky, silné průsaky mezi opěrami a deskou patrné

Atribut	Stav mostní římsy (5 atributů)
1	PB - dobrý, ochranný nátěr neopadá, průsak vody není patrný, popř. římsy opravené
2	PM PS - ochranný nátěr opadá, betonová omítka vlasově popraskaná, místy mírný betonový výdrol
3	Z - betonová omítka popraskaná po celé výšce, ve střední části podélně prasklá, na polovině silné betonové výdroly, u sloupků zadržadí až do hl. 50 mm, spodní hrana opadá až na ocelovou výztuž
4	NS NM - místy kvádry svise prasklé, vydroluje se spárování mezi kvádry, místy kvádry uvolněné v délce 1,50 m, tlačí se ven o 35 mm, nadzvedlý o 35 mm
5	NB - obě římsy oddělené od desky, bloky po celé délce utržené a vykloněné ven, spodní hrany se drojí po celé délce až 60 mm, vpravo na konci vydrolená do hl. 70 mm, místy po celé výšce prasklá a prasklina rozvětvená 10 mm

118

„SPOLEHLIVOST ZALOŽENÁ NA FUZZY DATECH“ – seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

Popis transformační matice
hodnocení stavu (kritérium 4)

Atribut	Chování při průjezdu vlaku
1	P - klidné
2	Z - ani klidné, ani neklidné
3	N - neklidné

Transformační matice hodnocení stavu nosné konstrukce

Atribut	Stav ocelobetonové desky (7 atributů)	Stav izolace (5 atributů)	Stav římsy (5 atributů)	Chování při průjezdu vlaku
1	PB: 1,0 – 0,9	PB: 1,0	PB: 1,0	P: 1,0 – 0,8
2	PM: 0,8	PM, PS: 0,9 – 0,8	PM, PS: 0,9 – 0,8	Z: 0,7 – 0,5
3	PS: 0,7 – 0,6	Z: 0,7 – 0,6	Z: 0,7 – 0,6	N: 0,4 – 0,0
4	Z: 0,5	NS, NM: 0,5 – 0,4	NS, NM: 0,5 – 0,4	
5	NS: 0,4 – 0,3	NB: 0,3 – 0,0	NB: 0,3 – 0,0	
6	NM: 0,2			
7	NB: 0,1 – 0,0			

119

„SPOLEHLIVOST ZALOŽENÁ NA FUZZY DATECH“ – seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

Stavová matice hodnocení stavu nosné konstrukce
vybraného typu mostních objektů

Atribut	Stav ocelobetonové desky (7 atributů)	Stav izolace (5 atributů)	Stav římsy (5 atributů)	Chování při průjezdu vlaku
1	Ne – 0	Ne – 0	Ne – 0	Ano – 1
2	Ne – 0	Ne – 0	Ano – 1	Ne – 0
3	Ano – 1	Ne – 0	Ne – 0	Ne – 0
4	Ne – 0	Ano – 1	Ne – 0	
5	Ne – 0	Ne – 0	Ne – 0	
6	Ne – 0			
7	Ne – 0			

- Pro konkrétní nosnou konstrukci vybraného mostního objektu dostáváme konkrétní hodnotu jako **skalární součin** uvedené transformační matice a stavové matice:

$$R = 1 \times 0,65 + 1 \times 0,45 + 1 \times 0,85 + 1 \times 0,9 = 2,85$$

120

Stanovení výsledné hodnoty charakteristiky stavu

Pro nosnou konstrukci vybraného mostního objektu dostáváme konkrétní hodnotu R jako **skalární součin**

transformační matice a **stavové matice**

Atribut	Stav desky	Stav izolace	Stav římsy	Chování
1	1,0 – 0,9	1,0	1,0	1,0 – 0,8 (0,9)
2	0,8	0,9 – 0,8	0,9 – 0,8 (0,85)	0,7 – 0,5
3	0,7 – 0,6 (0,65)	0,7 – 0,6	0,7 – 0,6	0,4 – 0,0
4	0,5	0,5 – 0,4 (0,45)	0,5 – 0,4	
5	0,4 – 0,3	0,3 – 0,0	0,3 – 0,0	
6	0,2			
7	0,1 – 0,0			

Stav desky	Stav izolace	Stav římsy	Chování
0	0	0	1
0	0	1	0
1	0	0	0
0	1	0	
0	0	0	
0			
0			

$$R = 0,65 \times 1 + 0,45 \times 1 + 0,85 \times 1 \times 0,9 \times 1 = 2,85$$

121

Retransformační matice hodnocení stavu nosné konstrukce

Atribut	Hodnota	Stav	Kritéria
1	4,0 – 3,0	dobrý	nosná konstrukce vyžaduje jen běžnou údržbu
2	3,0 – 1,8	vyhovující	nosná konstrukce vyžaduje opravu přesahující rámec běžné údržby, popř. i výměnu některých částí, avšak závady neohrožují bezprostředně bezpečnost provozu
3	1,8 – 0,0	nevyhovující	nosná konstrukce vyžaduje úplnou přestavbu nebo výměnu nosné konstrukce, popř. i jen opravu nebo výměnu některých částí, jejichž stav bezprostředně ohrožuje bezpečnost provozu

Je-li definována retransformační matice, např. hořejší tabulkou, a pokud jsme dostali hodnotu **2,85**, potom výstupem je jazyková proměnná „**vyhovující stav, ale vyžadující opravu**“.

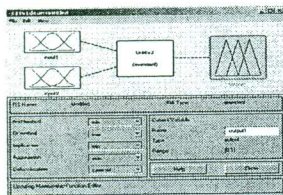
(Rozhodnutí o opravě je pak věcí správce mostu (finanční prostředky, stav dalších mostů v síti atd...)

122

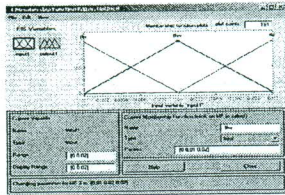
„SPOLEHLIVOST ZALOŽENÁ NA FUZZY DATECH“ – seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

Řešení složitějších fuzzy problémů: lze vytvořit vlastní programy
nebo používat komerční SW. Například Fuzzy Logic Toolbox v MATLABu:

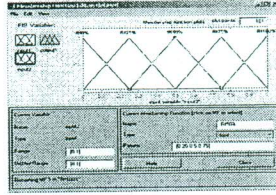
a) Editor fuzzy-inferenčního systému



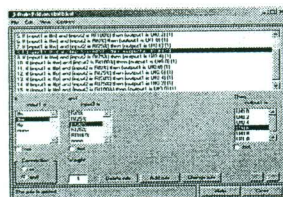
b) Funkce příslušnosti intenzity poškození



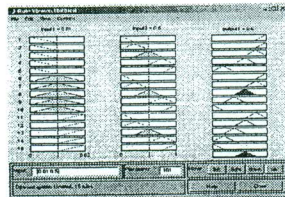
c) Funkce příslušnosti rozsahu poškození



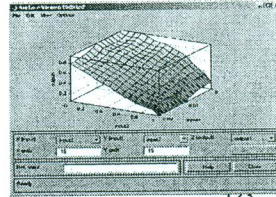
d) Editor báze podmíněných pravidel



e) Prohlížeč báze podmíněných pravidel



f) Prohlížeč plochy ukazatele stavu



„SPOLEHLIVOST ZALOŽENÁ NA FUZZY DATECH“ – seminář OSS (ČSJ), Praha, 11. 2. 2009

Postup aplikace fuzzy metod na hodnocení stavu mostů nebo jiných objektů

Cílem je vytvořit nástroj (např. SW), který zobektivizuje a usnadní hodnocení a sníží závislost na zapojení skutečných expertů do každého hodnotícího procesu v budoucnu.

ZÁKLADNÍ KROKY:

1. Definování veličin, resp. hledisek, která mají na stav konstrukce nebo objektu vliv.
2. Stanovení počtu atributů u jednotlivých veličin a vytvoření jejich popisu (= popis transformačních matic pro jednotlivé veličiny).
3. Přiřazení funkcí příslušnosti jednotlivým veličinám (a definování tvaru funkcí příslušnosti pro jednotlivé atributy u každé veličiny).
4. Pokud se výsledné hodnocení získává agregací, tj. sdružováním ohodnocení jednotlivých veličin, je nutno stanovit pravidla pro konstrukci výsledné funkce příslušnosti, popř. – v jednodušších případech – přiřadit váhy jednotlivým kritériím.
5. Definování pravidel pro defuzzifikaci – tj. pro přiřazení ostré hodnoty charakteristické veličině, podle níž se jednoznačně rozhodne o dalším postupu (nechat v provozu, opravit tehdy a tehdy, vyřadit z provozu).

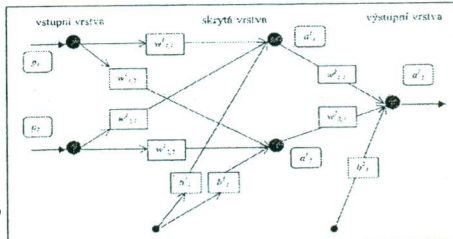
Řešení bodů č. 1 a 2 je úkol především pro člověka s bohatými zkušenostmi v dané oblasti (expert).
U bodů 3 – 5 je nutná spolupráce experta s odborníkem na fuzzy metody, popř. na další metody.
Jsou-li např. známa hodnocení expertů pro mnoho případů v minulosti, lze pro určení vah u jednotlivých veličin s výhodou užít umělé neuronové sítě, popř. fuzzy-neuronové sítě.

124

Použití umělých neuronových sítí

Umělou neuronovou sítí rozumíme určité propojení vstupů s výstupy, které napodobuje činnost mozku.

Umělé neuronové sítě pracují ve dvou fázích. V první fázi vystupuje tato síť (model složitějšího systému) v roli „žáka“, tj. učí se nastavit své parametry. Ve druhé fázi se stává „odborníkem“, neboť vytváří výstupy na základě znalostí získaných v první fázi.



Vstupní hodnoty x_1, x_2, \dots, x_n jsou vhodným způsobem transformovány na výstupní hodnotu, $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Výsledná hodnota y závisí na vstupních hodnotách, na tvaru funkce f a způsobu propojení vstupů a výstupu (topologie sítě). Každá vstupní veličina má jinak silný vliv na y . To je v neuronové síti vyjádřeno tak, že vstupní hodnoty x_1, x_2, \dots, x_n se přenásobují váhovými koeficienty w_1, w_2, \dots, w_n . Tyto koeficienty jsou na počátku neznámé a získají se tzv. **učením**. Při tomto procesu se váhy tak dlouho postupně obměňují, až výstupní hodnota y (pro zadané vstupní hodnoty x_1, x_2, \dots, x_n) odpovídá skutečné (známé) hodnotě y pro tyto vstupy.

125

Použití umělých neuronových sítí (pokrač.)

Pro výpočet váhových koeficientů při učení sítě se užívá **metoda zpětného šíření chyby**, která se skládá ze dvou kroků. V kroku vpřed se provede výpočet výstupů na základě vstupů a vah, dále se provede výpočet chyby $E = \sum (n_i - o_i)^2$ z rozdílu vypočtených a očekávaných hodnot. Výpočet se provádí přes všechny výstupy a v každém cyklu. Tohoto rozdílu se pak v kroku zpět využije ke zpětnému výpočtu vah. Celý proces se opakuje tak dlouho, až chyba konverguje k přijatelné hodnotě. Obvykle je nutno několik desítek případů.

Kvalitu naučené sítě je třeba testovat před použitím, protože záleží nejen na kvalitě vstupních údajů, ale také i na navolení parametrů sítě, např. typu přenosové funkce, topologie sítě, počtu vstupů atd. Hovoříme o tzv. **ladění sítě**, které je nejspíše a nejdůležitější částí uvedení sítě do praxe. Zde je nezbytná spolupráce experta na řešenou problematiku (např. na mostní stavby) a odborníka na neuronové sítě.

Kombinace fuzzy logiky a umělých neuronových sítí

Spojením fuzzy logiky a umělé neuronové sítě lze vytvořit fuzzy neuronovou síť. Tato kombinace si zachová jak schopnost reprezentovat znalosti (zděděnou po fuzzy systému), tak i schopnost učení se (zděděnou po neuronové síti).

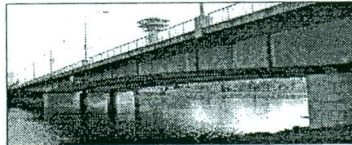
126

Shrnutí

- V železniční i silniční síti je velké množství mostů. Je proto nutno racionalizovat hospodaření s nimi. V průběhu doby vznikla řada systémů pro evidenci a management mostů.
- Hodnocení stavu mostních objektů vychází z prohlídek. Mnohem častěji než měření fyzikálních veličin se užívá slovní popis stavu, a hodnocení je zčásti subjektivní. Existuje snaha toto hodnocení objektivizovat.
- Pomoci mohou systémy založené na fuzzy logice, které mohou pracovat s verbálním a poměrně vágním hodnocením (např. „v nosnících je velké množství malých trhlin“, „nosníky jsou silně zrezivělé“).
- V příspěvku byl popsán princip fuzzy metod a tři hlavní kroky řešení (fuzzifikace, fuzzy inference a defuzzifikace). Bylo ukázáno použití těchto metod v jednodušších případech, a ilustrováno na hodnocení stavu mostního objektu. Také byly naznačeny možnosti dalšího rozvoje, např. kombinace fuzzy logiky a umělých neuronových sítí.
- Popsané metody se mohou uplatnit i při hodnocení jiných objektů (staveb, konstrukcí nebo zařízení), kde se vychází se slovního, popř. vágního hodnocení, nebo kde není k dispozici dostatek exaktních podkladů a je nutno užívat i odhady. K dispozici je i komerční software.

Děkujeme za pozornost !

jaroslav.mencik@upce.cz
rudolf@szdc.cz



127

Literatura

1. Dostál P, Rais K, Sojka Z: *Pokročilé metody manažerského rozhodování*. Grada, Praha, 2005.
2. Jura P: *Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování*. VUT Brno, nakladatelství VUTUM, 2003.
3. Kreidl M a kol.: *Diagnostické systémy*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2001.
4. Pokorný M: *Umělá inteligence v modelování a řízení*, Nakladatelství BEN, Praha, 1996.
5. Möller B, Reuter U: *Uncertainty Forecasting in Engineering*. Springer, Berlin, 2007.
6. Möller B, Beer M: *Fuzzy Randomness*. Springer, Berlin, 2004.
7. Möller B et al.: *Software solutions for FUZZY ANALYSIS*. Technische Universität Dresden. Bliže na <http://www.uncertainty-in-engineering.net>
8. Bing L, Meilin Z, Kai X: A practical engineering method for fuzzy reliability analysis of mechanical structures. *Reliability Engineering and System Safety*, 67 (2000) pp. 311-315.
9. Biondini F, Bontempi F, Malerba P G: Fuzzyreliability analysis of concrete structures. *Computers and Structures*, 82 (2004), pp. 1033-1052.
10. Kala Z: Fuzzy neurčitost stochastických metod. *Stavební obzor*, 15 (2006), č. 8, s. 238-242.
11. Rudolf P: *Spolehlivost a životnost stávajících mostních objektů a jejich hodnocení s použitím moderních výpočetních nástrojů*. Pisemná práce k SDZ. Univerzita Pardubice, DFJP, 2005.
12. Rudolf P: Example of the condition state of evaluation of existing railway bridge object using soft computing methods. Sborník: 3rd Int.Conf. „Reliability and Safety of Transport Structures and Means“. Lázně Bohdaneč, 25-26 September 2008. University of Pardubice, 2008, pp. 309-316.
13. Záhrová V: Fuzzy Methods and Railway Vehicle Maintenance. Sborník: 3rd Int.Conf. „Reliability and Safety of Transport Structures and Means“. Lázně Bohdaneč, 25-26 September 2008. University of Pardubice, 2008, pp. 410-413.
14. Fuzzy Logic Toolbox User's Guide. The MathWorks, Inc., [online], 2008
http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf

128



Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1
Spolehlivost založená na fuzzy datech, Praha 11. 2. 2009

Spolehlivost založená na fuzzy datech (sborník přednášek),
kolektiv autorů
počet stran: 68,
1. vydání,
rok vydání: 2009
druh vazby: brožovaná

ISBN 978-80-02-02120-9