

3 Znalostné systémy, Fuzzy logika a fuzzy systémy

3.1 Úvod

Niekoľko definícií

- **Informácia (information)** je údaj (dáta) alebo fakt, ktorý je obsahom správy získanej od iného subjektu komunikáciou alebo vlastným pozorovaním.
- **Fakt (fact)** je taký obsah informácie, ktorý je konzistentný s objektívnou realitou a jeho platnosť môže byť overená.
- **Poznatok (knowledge)** je spracovaná informácia alebo viac informácií. Je to čiastkový výsledok poznávacieho procesu, ktorý môže byť ďalej využiteľný. Je to reprodukcia vymedzenej časti sveta.
- **Znalosť (knowledge)** vzniká uvedomením si, pochopením a previazaním spravidla viacerých (mnohých) poznatkov za použitia uvažovania, skúseností a vzdelania. Znalosti sú teda meniteľné, doplniteľné poznatky, previazané do zmysluplného celku (systému) z určitej časti reality, ktorý má praktické uplatnenie.

Príklad

- **Informácia**: Môj kamarát má teplotu 38,5 °C.
- **Fakt**: Teplota tela kamaráta, ktorá bola zmeraná teplomerom, je 38,5 °C.
- **Poznatok**: Ak má kamarát teplotu 38,5 °C má horúčku a je chorý.
- **Znalosť**: Ak má kamarát horúčku, bolí ho hrdlo, má bolesti svalov, hlavy a má pozitívny nález baktérií xy z výteru hrdla, má angínu. Na liečbu bude potrebovať antibiotikum xy.

Nositel'mi znalostí sú ľudia, ktorí môžu z ich využívania profitovať.

Vo všeobecnosti znalosti má každý bežný človek a potrebuje ich na riešenie každodenných situácií.

Špeciálne znalosti obsahujú ľudia, ktorí sú vyškolení a spravidla (vysoko) kvalifikovaní odborníci v istej úzkej oblasti života. Osoby, ktoré majú väčšie znalosti, než väčšina iných ľudí (všetci) okolo nich sa nazývajú odborníci (experti).

Znalostné systémy (ZS)

- Zaoberajú sa zložitými, často aj vágne, neurčito formulovanými problémami, ktoré obyčajne riešia ľudia použitím svojich znalostí, skúseností a intuície.
- ZS sú počítačové systémy, ktoré obsahujú množinu vhodne reprezentovaných znalostí o špecifickej aplikačnej doméne.
- Predmetom skúmania ZS je získavanie, formalizácia, reprezentácia, testovanie, triedenie znalostí
- a hlavne riešenie problémov pomocou znalostí.

Príklad: Konkurz do zamestnania

Kritériá: vzdelanie, osobný pohovor, prax ...



Príklad pravidiel:

1. Ak uchádzač má Ing. vzdelanie a spravil veľmi dobrý dojem → prijať za programátora analytika
2. Ak uchádzač má Bc. vzdelanie a neurobil zlý dojem → prijať za programátora
3. Ak má uchádzač aspoň univerzitné vzdelanie 2.stupňa, urobil veľmi dobrý dojem a má dostatočnú prax v oblasti → prijať do manažmentu
4. ...

Znalosti vo forme pravidiel, ktoré majú ľudia v personálnom manažmente firmy.



Príklad: Konkurz do zamestnania

Matlab, Fuzzy toolbox





Pravidlá prechádzania chodca cez prechod

- a) Ak je auto d'aleko → *prejdi*
- b) Ak je auto nie je veľmi d'aleko a ide rýchlo → *čakaj*
- c) Ak je auto blízko a stojí → *prejdi*
- d) ...

Človek dokáže realizovať zložité operácie typu :

- hodnotenie dopravnej situácie
- riešenie dopravných situácií, rozhodovanie sa
- ovládanie auta v dopravnej špičke v meste ...
- bez presných meraní (vzdialenosti, rýchlosti) a iných údajov, bez matematických modelov
- na základe odhadu, nepresných informácií, znalostí a skúseností - spoľahlivo, bezpečne bez kolízií.



Takéto problémy sú z hľadiska riešenia počítačom (robotom) veľmi ťažké úlohy.

Človek dokáže tieto situácie vyjadriť slovne, dokáže naučiť riadiť iného človeka.

Ale formulovať tieto znalosti matematicky pre potreby počítača dokáže len veľmi obtiažne alebo vôbec.

Vieme transformovať znalosti človeka-vodiča do programu autonómneho auta?



Pravidlá riadenia autonómneho auta na dialnici



Človek používa na hodnotenie stavu pojmy ako:
d'aleko, veľmi blízko, príliš rýchlo, pomaly ...

Na vyjadrenie rozhodnutia alebo akcie:
merne brzdiť, silno pridať, mierne zatočiť doprava,
zatočiť doľava...

Počítač takýmto vágnym pojmom nerozumie.

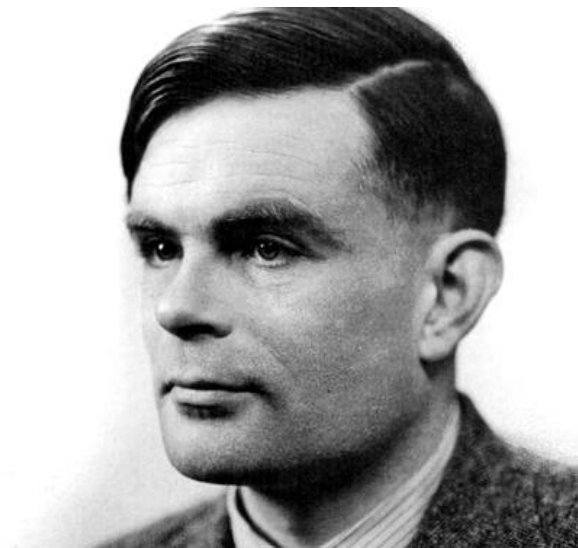


Hľadal sa **PRÍSTUP**, ktorý by dokázal transformovať ľudskou rečou formulovaný model alebo empiricky získané pravidlá správania sa do → matematickej (počítačovej) reprezentácie,

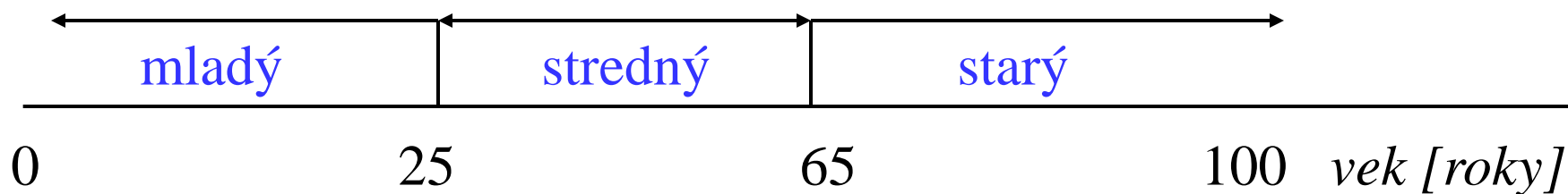
aby bolo možné človeka s jeho znalosťami a jeho spôsobom myslenia → nahradiť technickým zariadením.

Príklad: “vek človeka”

Aký starý je tento človek ?

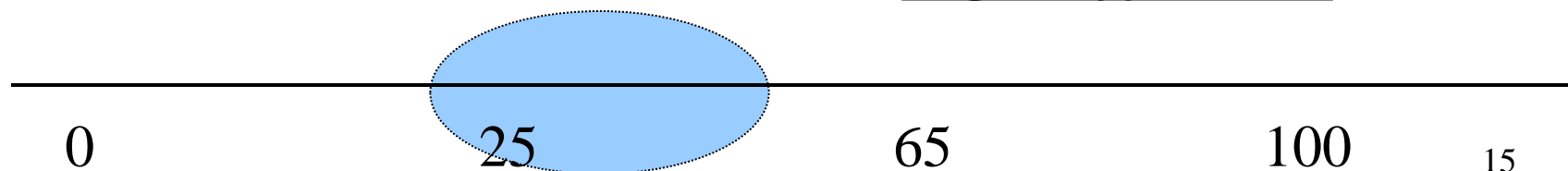


konvenčné (“ostré”) množiny



„v strednom veku“

vágne vyjadrenie





mladý

starý

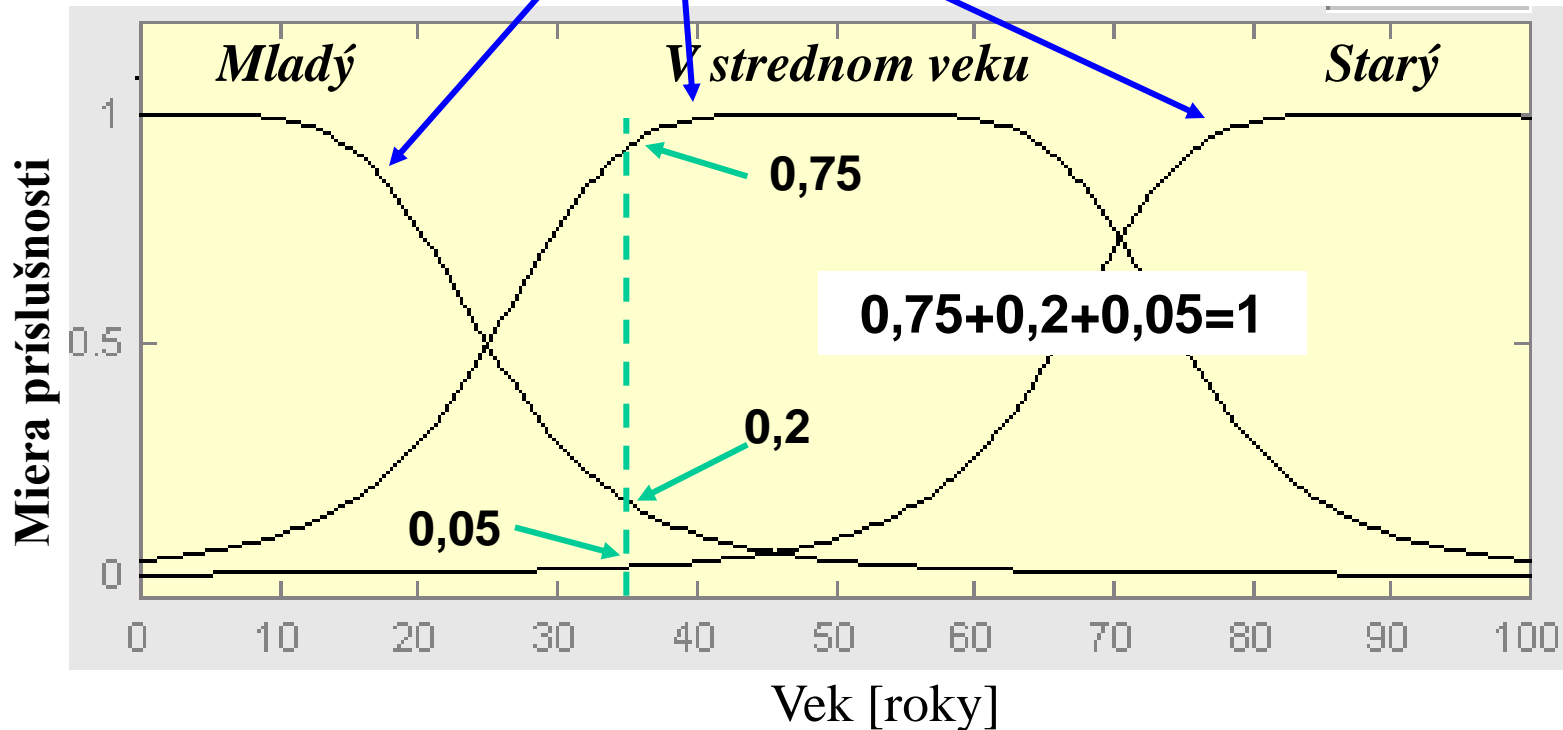
zima

teplo

Veková kategória ľudí

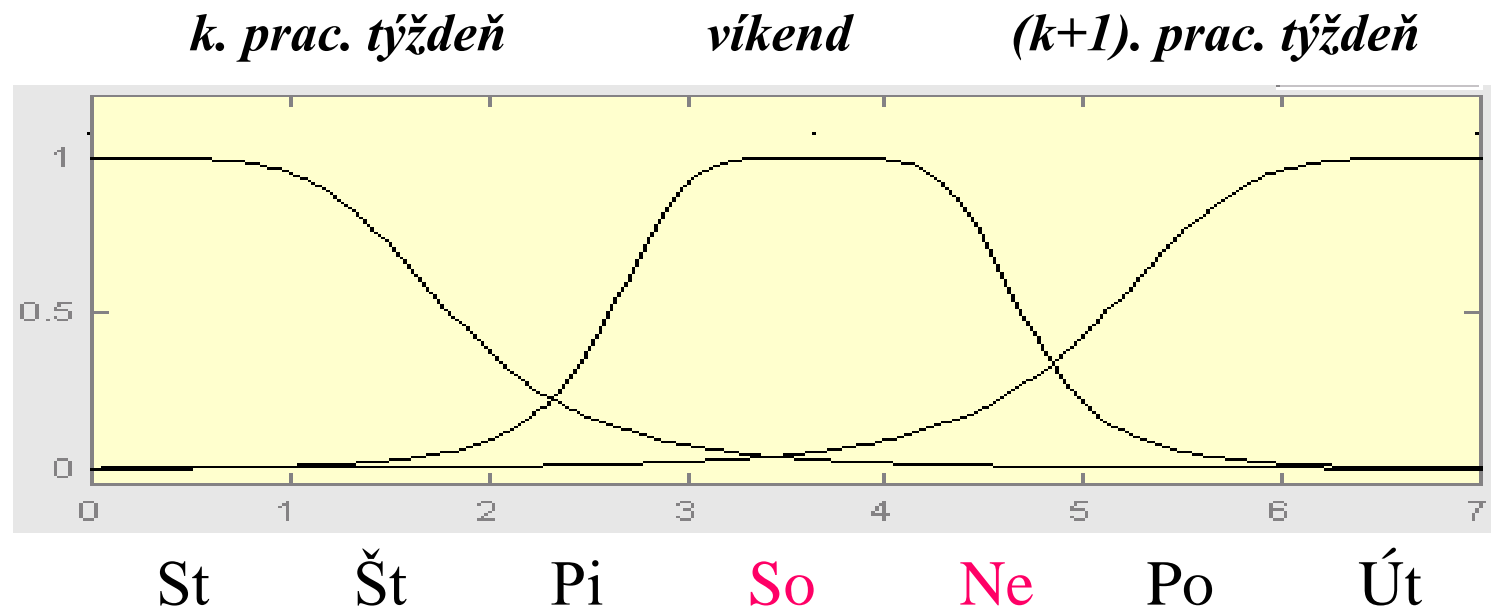
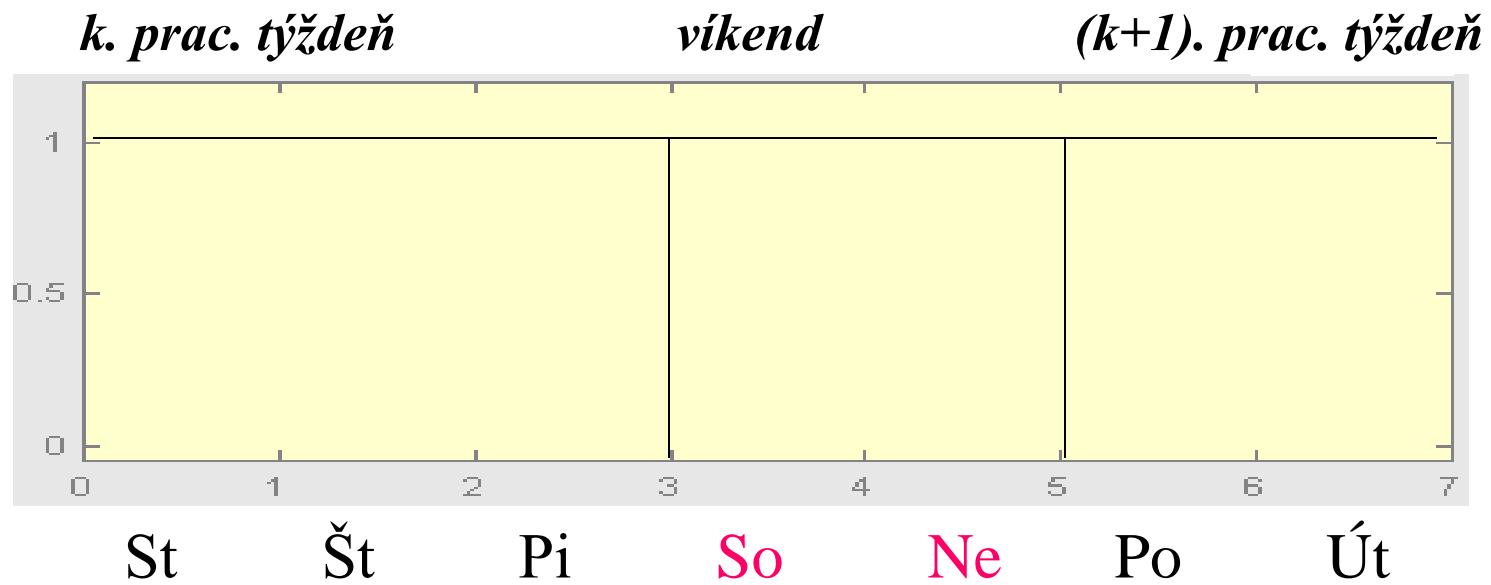
(Lotfi Zadeh, 1965)

Fuzzy množiny

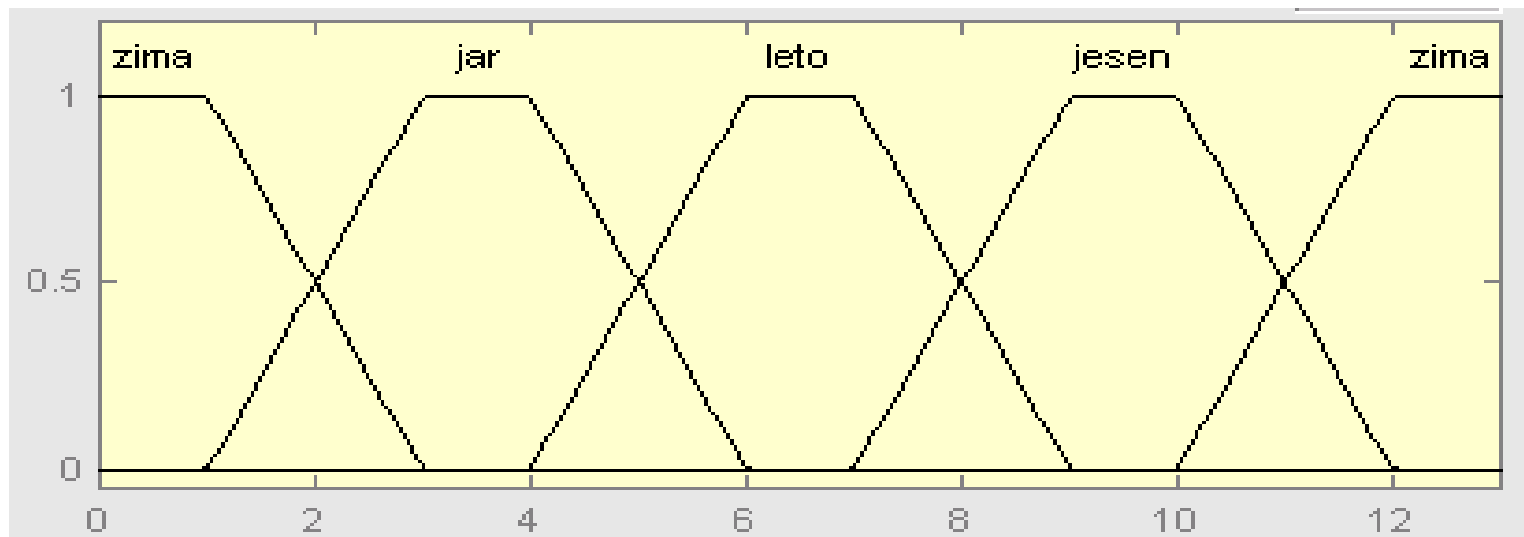
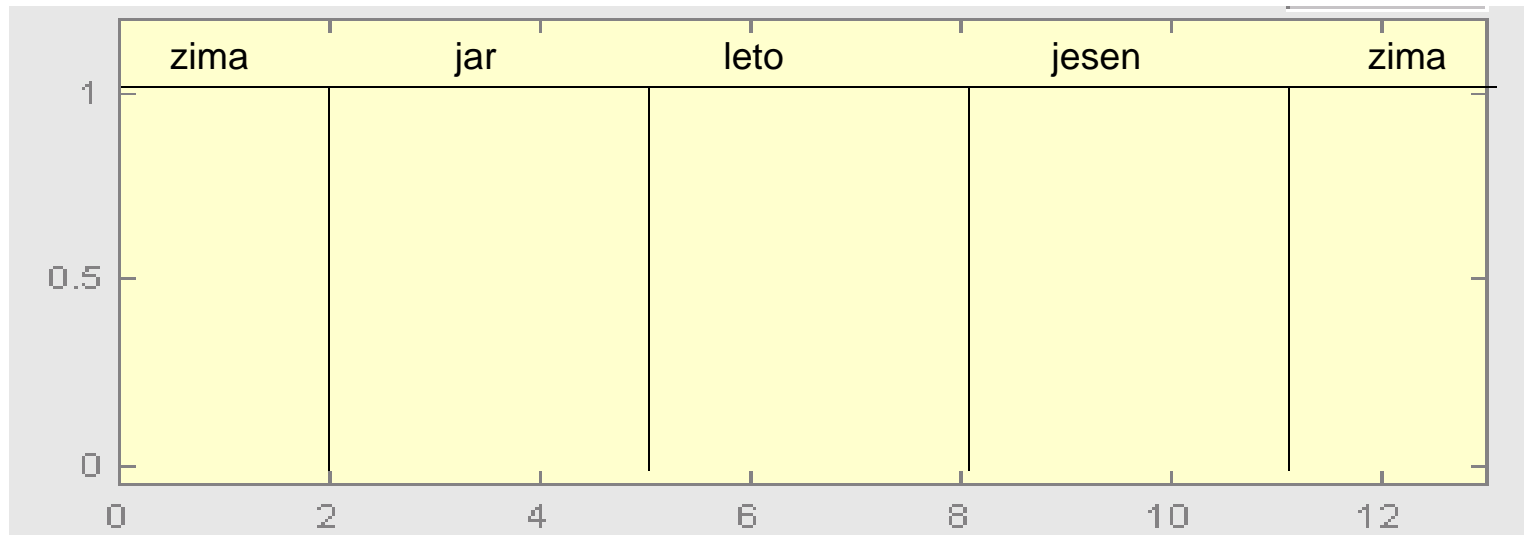


Hranice medzi množinami sú
neostré – „fuzzy“ (angl.)

Víkend



Ročné obdobia



mesiac

3.2 Základné objekty fuzzy logiky a operácie s nimi

„Ostrá“ množina

(množina v konvenčnom ponímaní)

N – množina všetkých prirodzených čísel x (diskrétna množina)

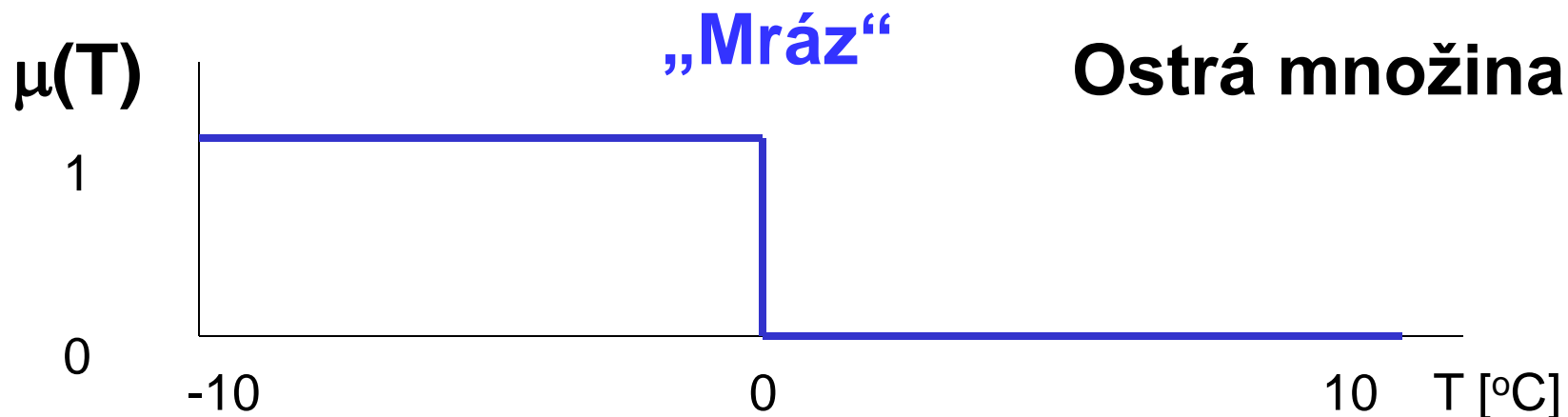
A – množina takých čísel $x \in N$; $5 < x < 15$

$A = \{ (x, 5 < x < 15) ; x \in N \}$

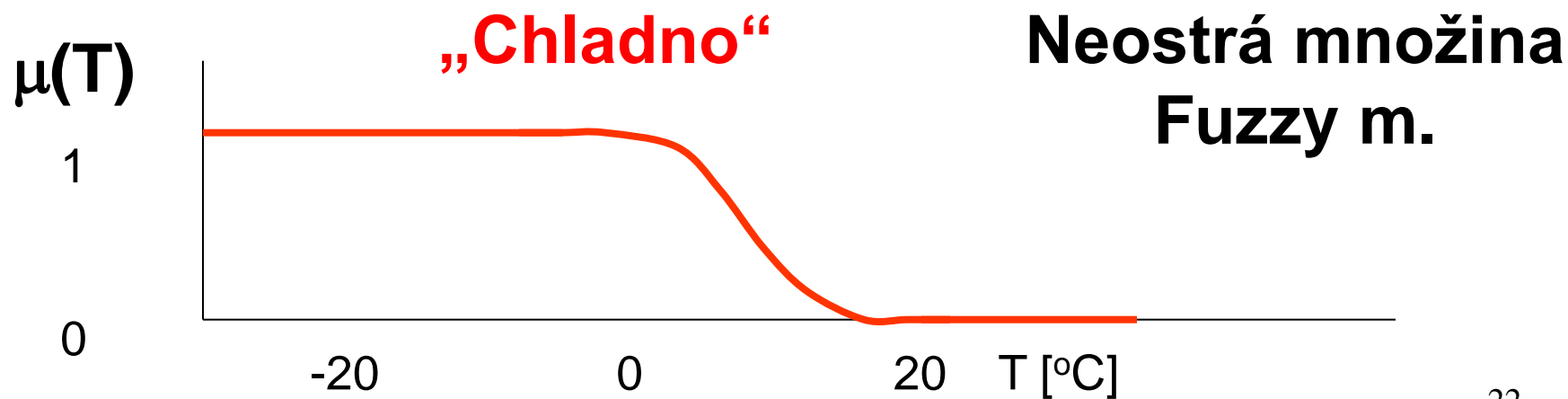
$A = \{6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14\}$

Každé prirodzené číslo x buď patrí alebo nepatrí do A.

Nemôže súčasne aj patriť aj nepatriť do A.



μ - stupeň príslušnosti do množiny (do kategórie)



Fuzzy množina

je definovaná pomocou názvu a pomocou funkcie príslušnosti

funkcia príslušnosti fuzzy množiny A je zobrazenie

$$\mu_A(x): X \rightarrow \langle 0 ; 1 \rangle ; x \in X$$

X - „univerzum” - usporiadaná množina prvkov
zvoleného typu (numerické, nenum.)

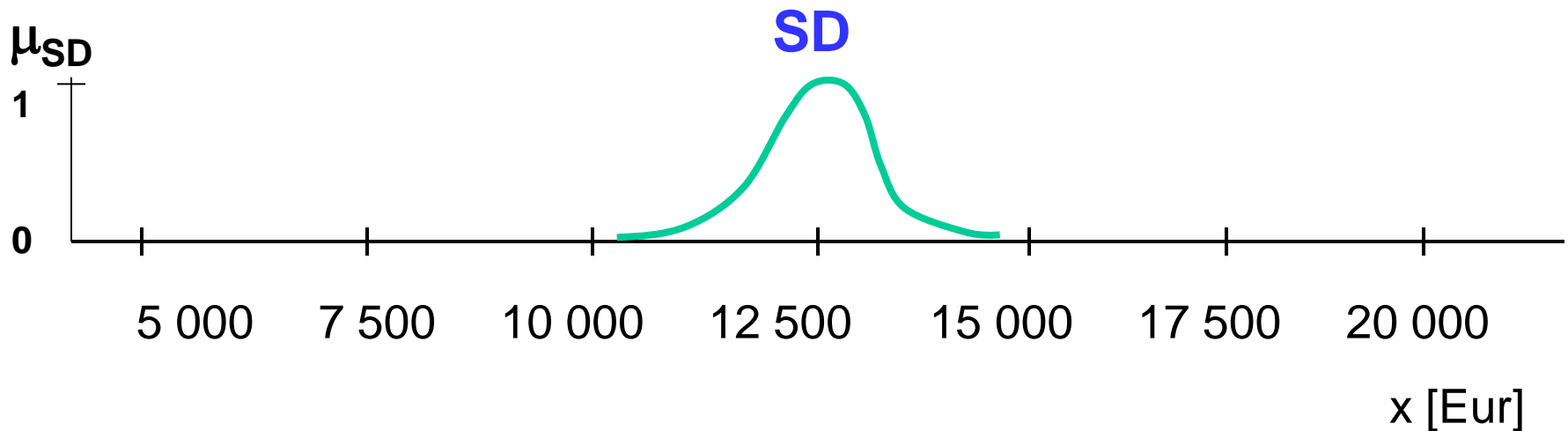
$\mu_A(x)$ - stupeň príslušnosti prvku x do množiny A

iný zápis : $A = \{ (x, \mu_A(x)) ; x \in X \}$

alebo : $A = \{ x, \mu_A(x) , X \}$

Príklad:

fuzzy množina „ stredne drahých (SD) áut „

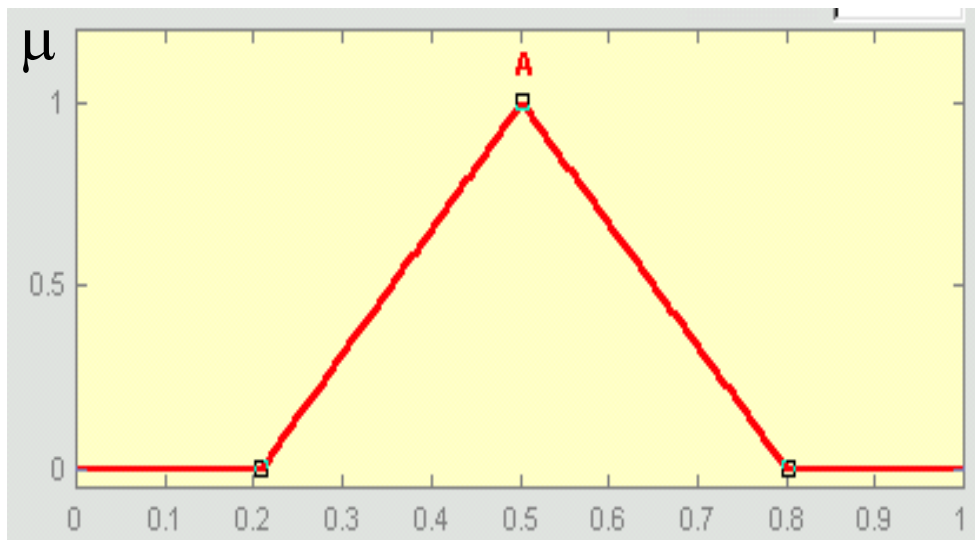


$$\mu_{SD}(x) = \exp(-(x-12\,500)^2/2\alpha^2)$$

$$x \in C ; \quad C = < 0; 100\,000 > [\text{Eur}]$$

$$SD = \{ (x, \mu_{SD}(x)) ; x \in C \}$$

Typy funkcií príslušnosti

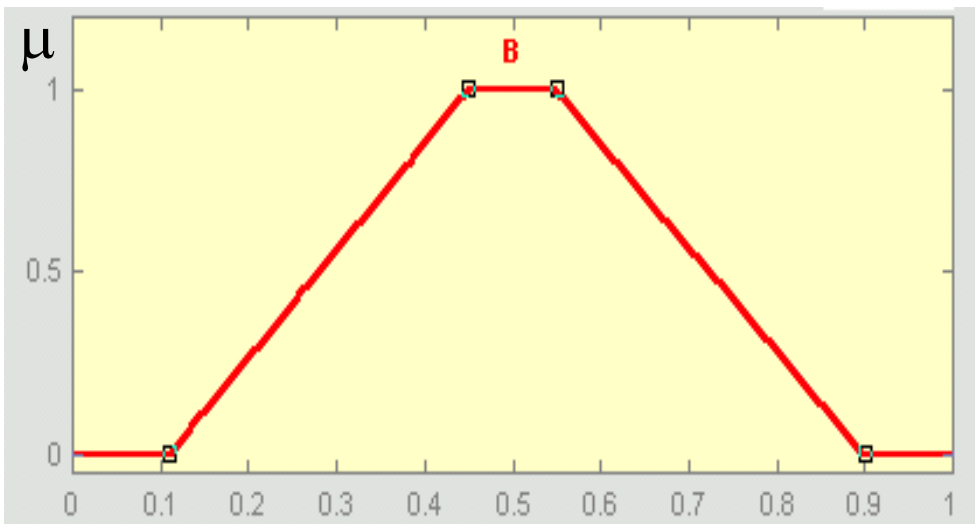


Trojuholníková f.p.

$$\mu(x) = a_1x + b_1; \quad x \in \langle x_1, x_2 \rangle; \quad a_1 > 0$$

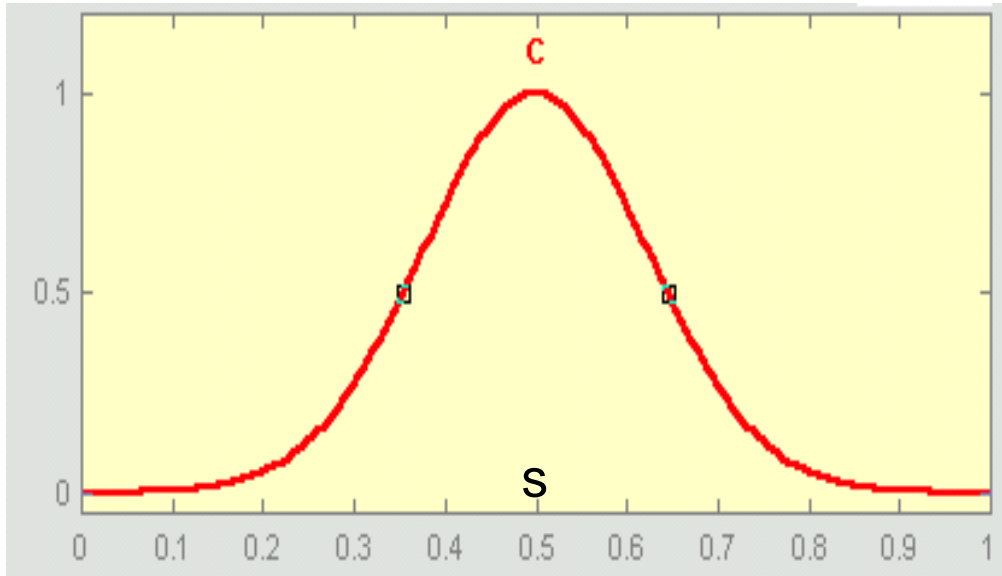
$$\mu(x) = -a_2x + b_2; \quad x \in \langle x_2, x_3 \rangle; \quad a_2 > 0$$

$$\mu(x) = 0; \quad \text{iné } x$$



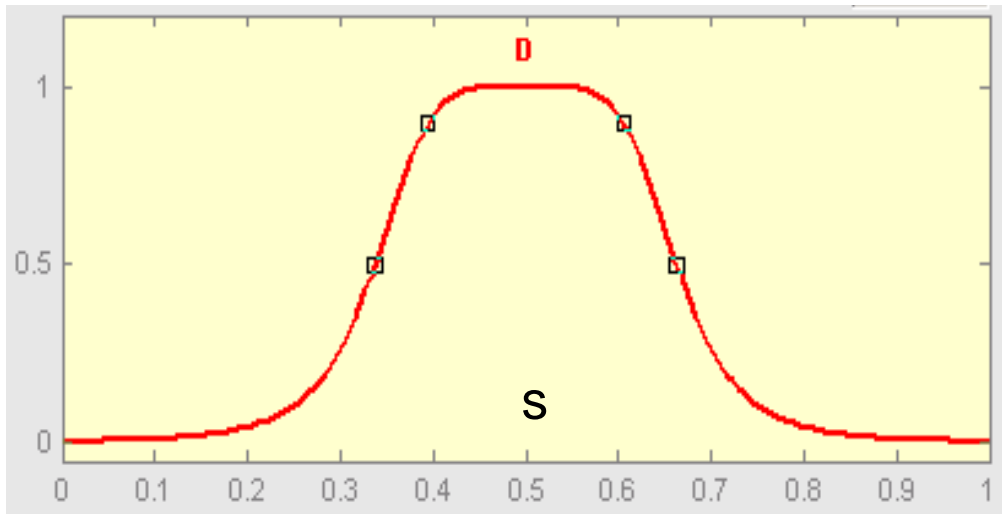
Lichobežníková f.p.

analogicky



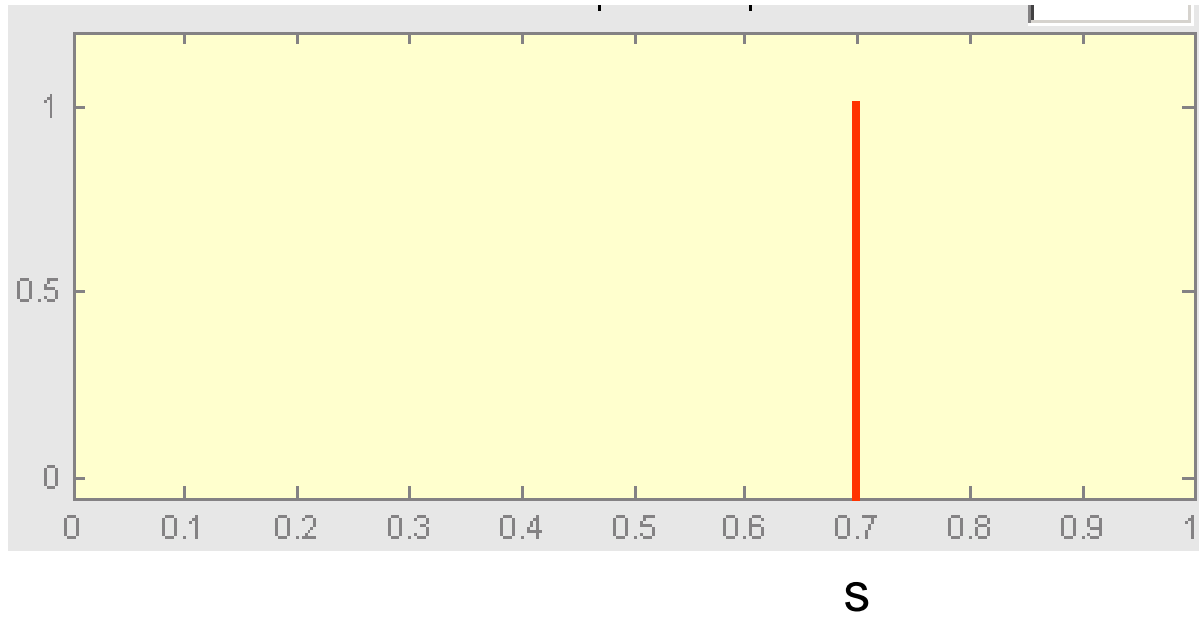
Gaussova f.p.

$$\mu(x) = e^{-K(s-x)^2}$$



Zvonová f.p.

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-s}{\beta} \right)^2}$$



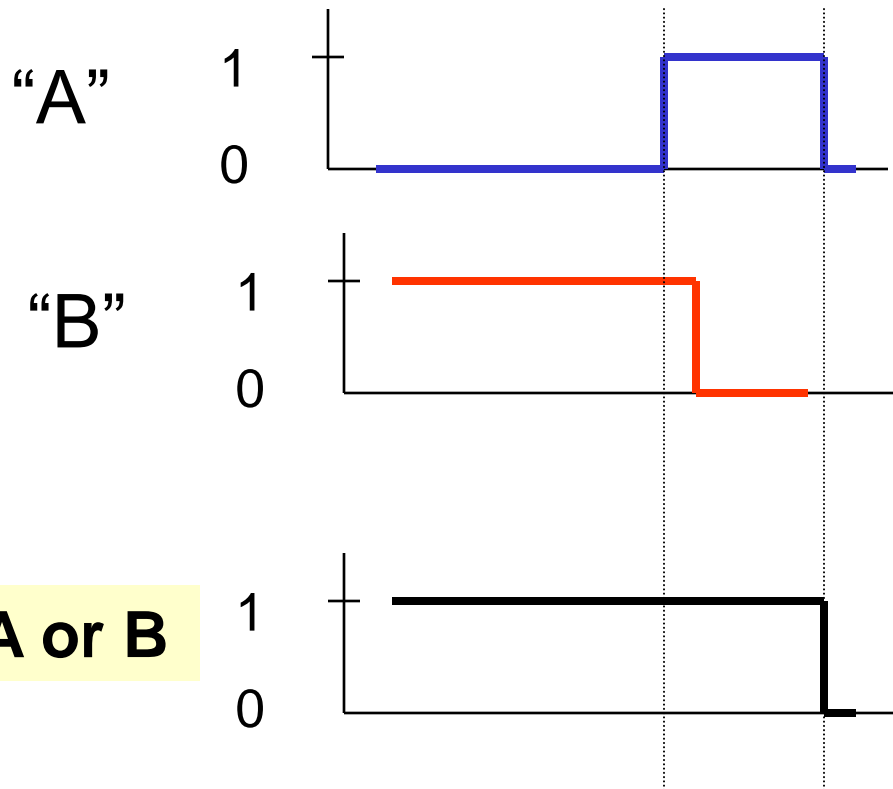
Singleton

$$\mu(x)=1 ; x=S$$

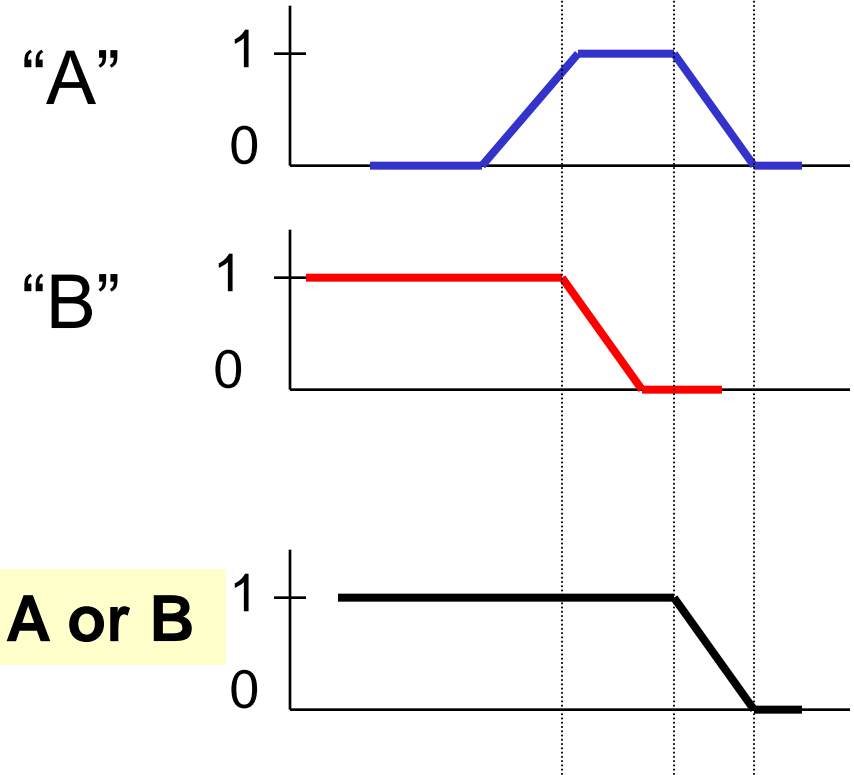
$$\mu(x)=0 ; x \neq S$$

Operácie s fuzzy množinami

ostré množiny



fuzzy množiny



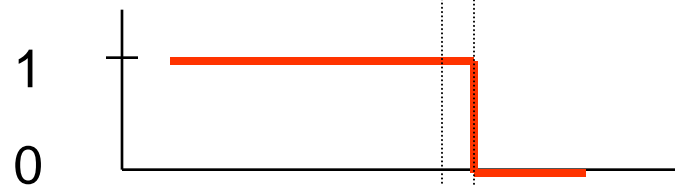
$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A, \mu_B)$$

ostré množiny

“A”



“B”

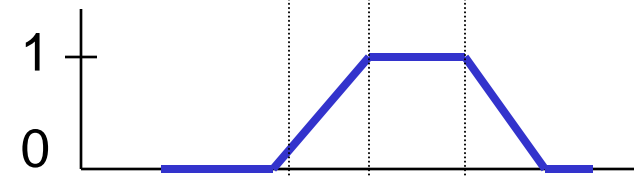


A and B



fuzzy množiny

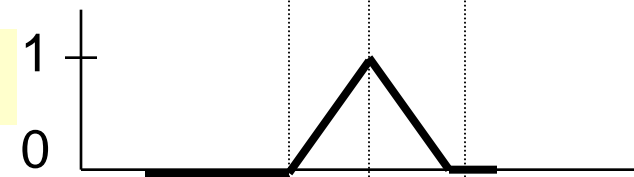
“A”



“B”



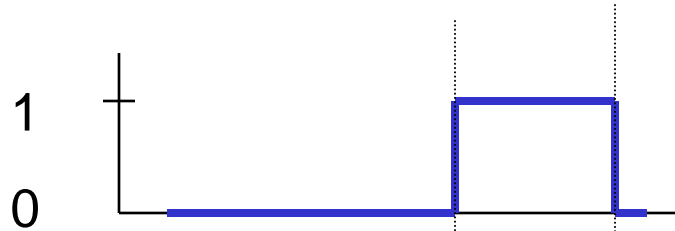
A and B



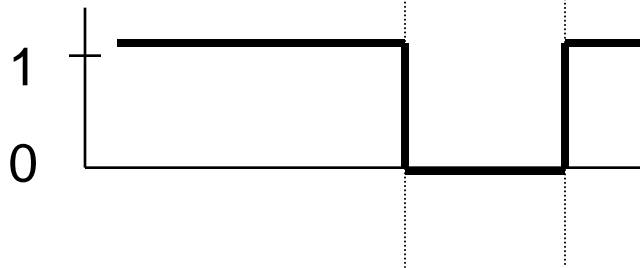
$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A, \mu_B)$$

ostré množiny

“A”

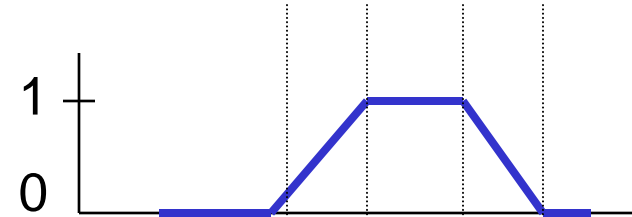


non A

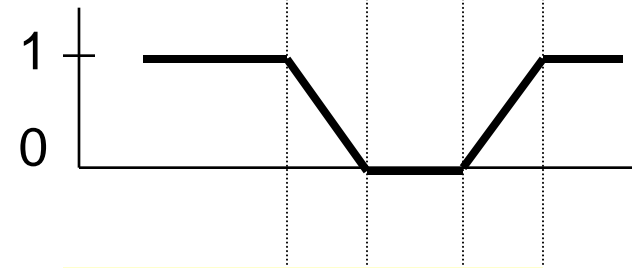


fuzzy množiny

“A”



non A



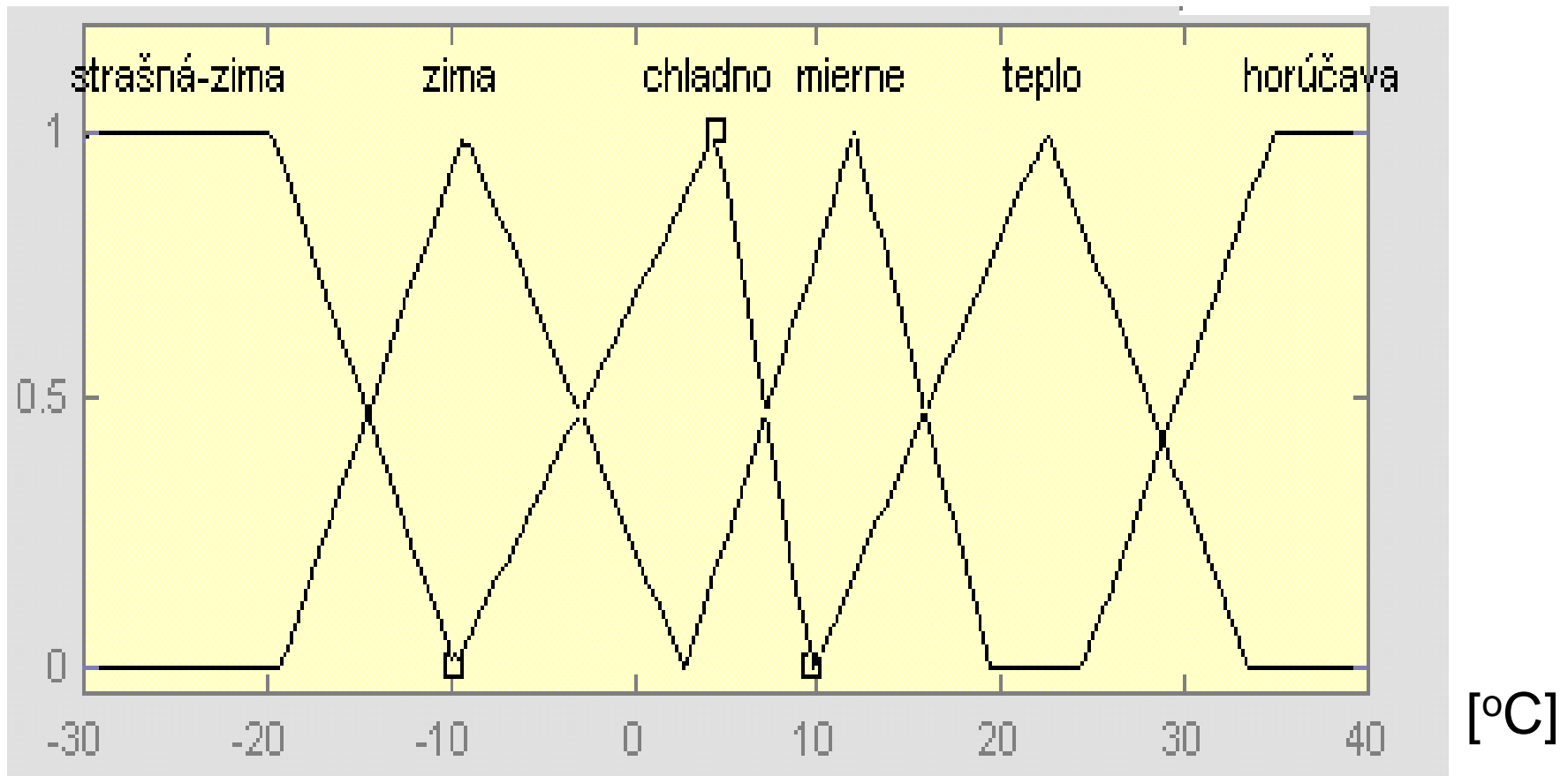
$$\mu_{\text{non}A} = (1 - \mu_A)_{30}$$

Vo fuzzy logike existujú ešte mnohé iné typy množinových operácií, ktoré majú význam pri špecifických aplikáciách.

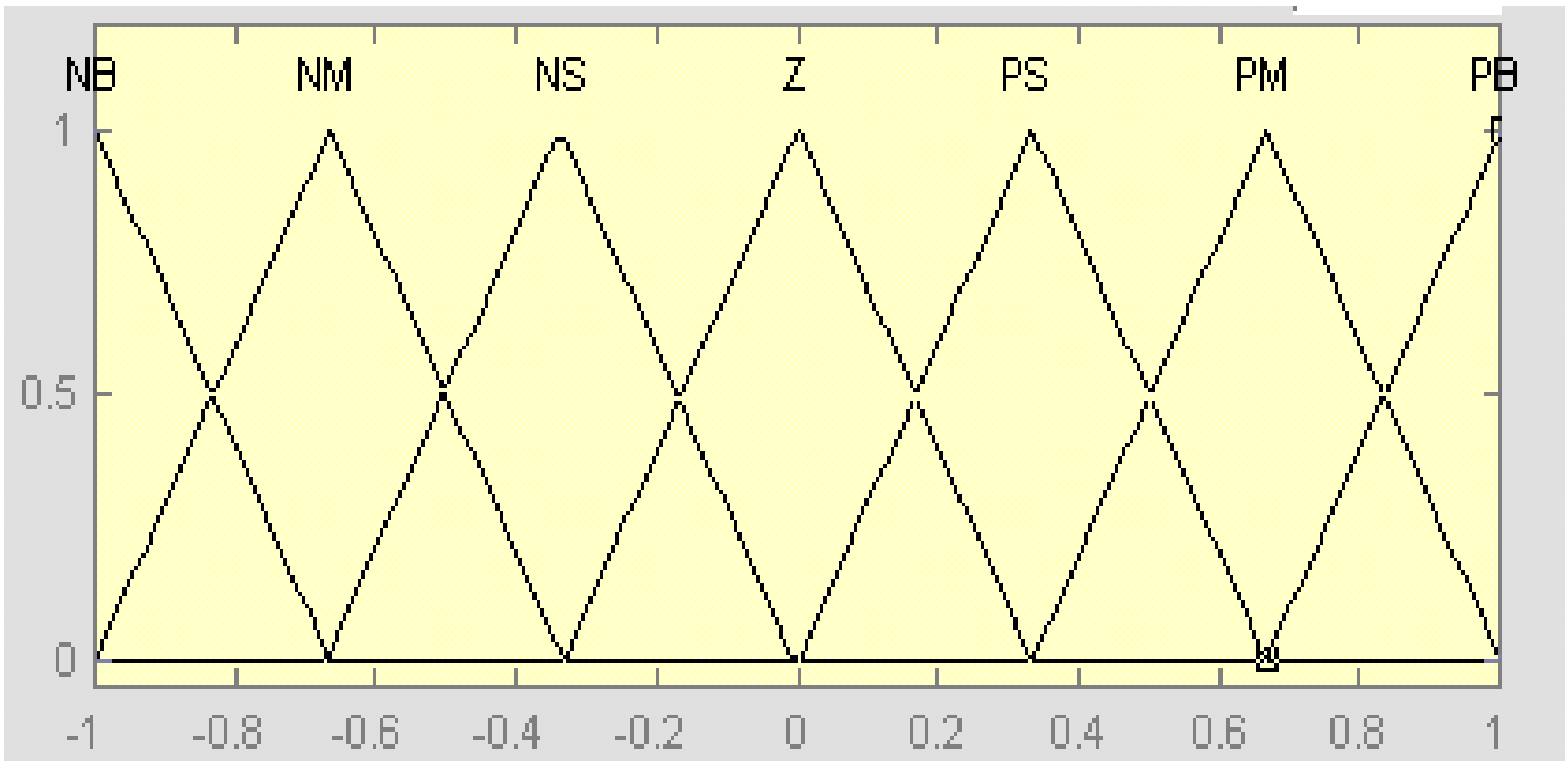
Lingvistická premenná (jazyková premenná)

- **je slovne vyjadriteľná veličina (premenná)**
napr: teplota v miestnosti, rýchlosť nárastu tlaku, výkonnosť zamestnancov firmy, cena auta, ...
- **je definovaná:**
 1. **názvom** - krátky, výstižný, jednoznačný
 2. **univerzom** (definičným oborom), univerzum je ľubovoľná usporiadaná množina (reálne-číselná, celočíselná, ... , množina zamestnancov firmy, ...)
 3. **množinou lingvistických hodnôt** (tzv. “termov”), ktoré sú jednoznačne určené fuzzy množinami (fun. príslušnosti)

Príklady lingvistických premenných: **“teplota okolia”**



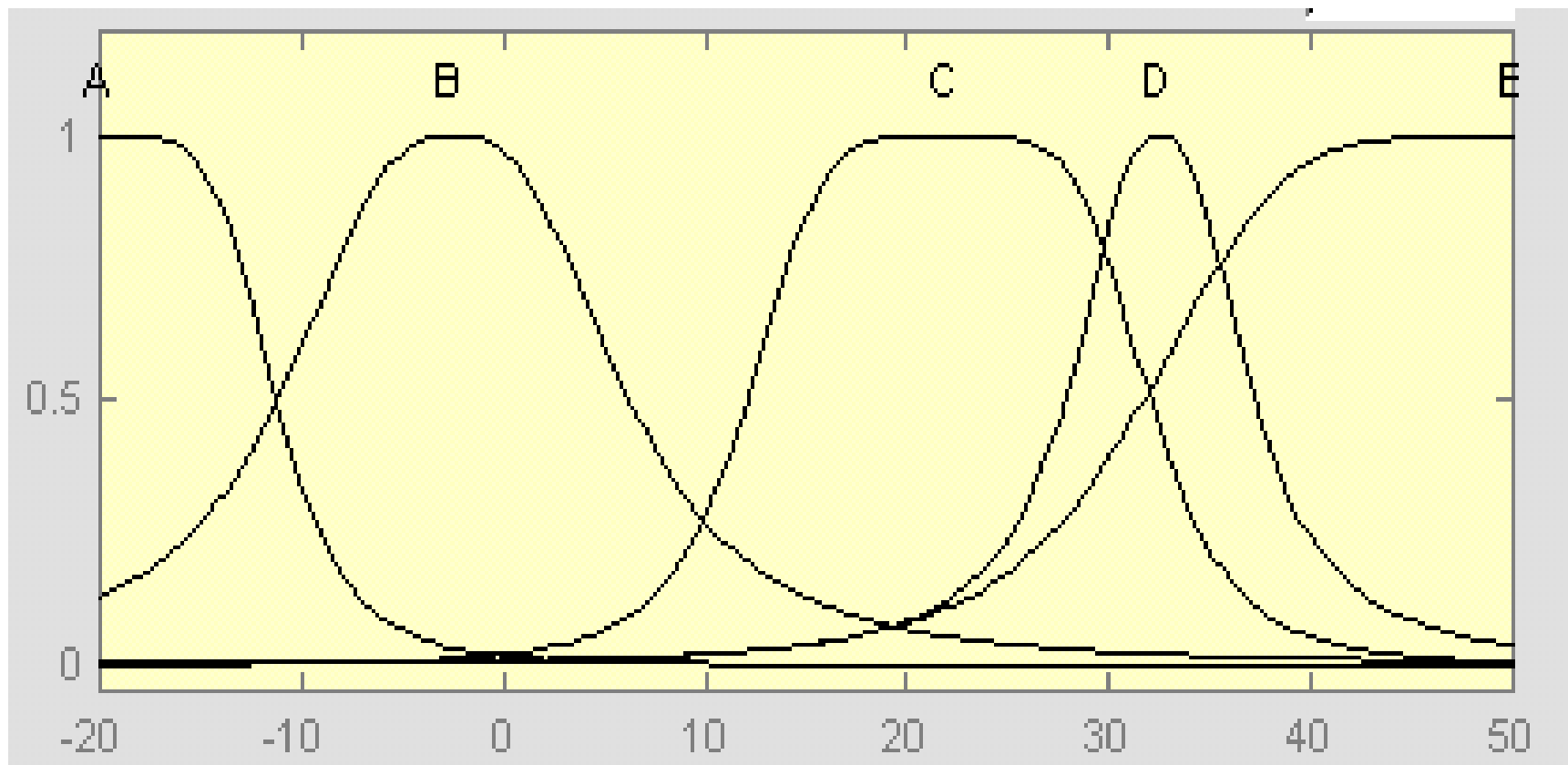
Počet lingv.hodnôt (termov, f.množín) sa volí tak, aby jednotlivé kategórie boli dostatočne rozlíšené.



rovnomerne rozložené, symetrické, trojuholníkové funkcie príslušnosti, v normovanom tvare $\langle -1; 1 \rangle$ (nemusí byť)

všeobecné označenie termov:

N-negative, P-positive, B-big (veľký) , M-medium (stredný), S-small (malý)



nerovnomerne rozložené, nepravidelné f.p.

Fuzzy pravidlá

Pri komunikácii a pri uvažovaní človek používa pravidlovú reprezentáciu znalostí :

- a) Ak je auto *d'aleko* → *prejdi*
- b) Ak je auto *nie je veľmi d'aleko* a *ide rýchlo* → *čakaj*
- c) ...

Štruktúra pravidla

Ak **predpoklad** potom **dôsledok**
(If **antecedent** then **consequent**)

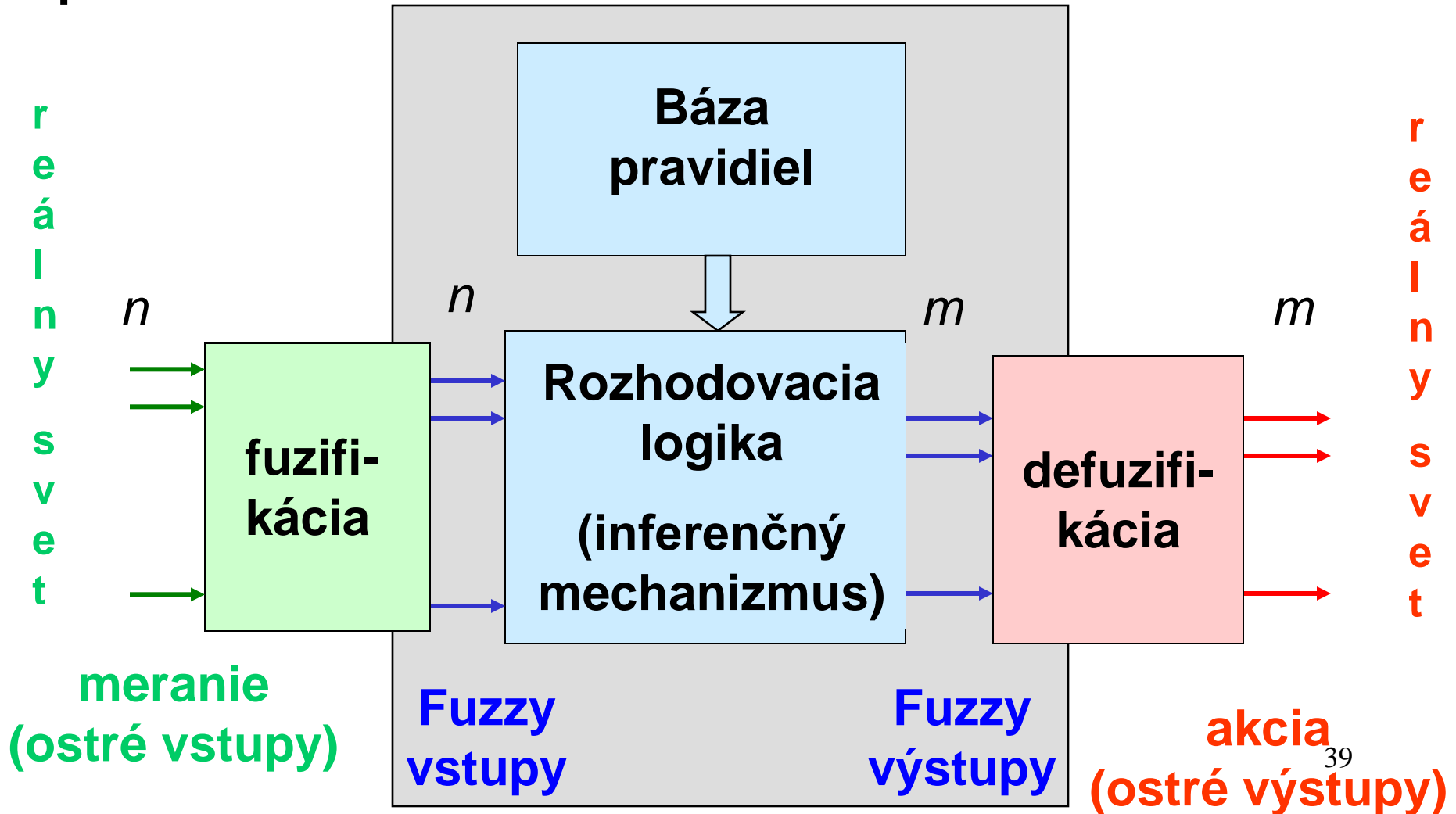
Príklad:

Ak je **vzdialenosť** od auta pred tebou **veľká** a **rastie**,
potom **silno pridaj**.

3.3 Fuzzy systém, fuzzy inferenční mechanismus

Fuzzy systém

Slúži na interpretáciu a spracovanie lingvisticky formulovaných znalostí, ktoré sú obsiahnuté v báze pravidiel.

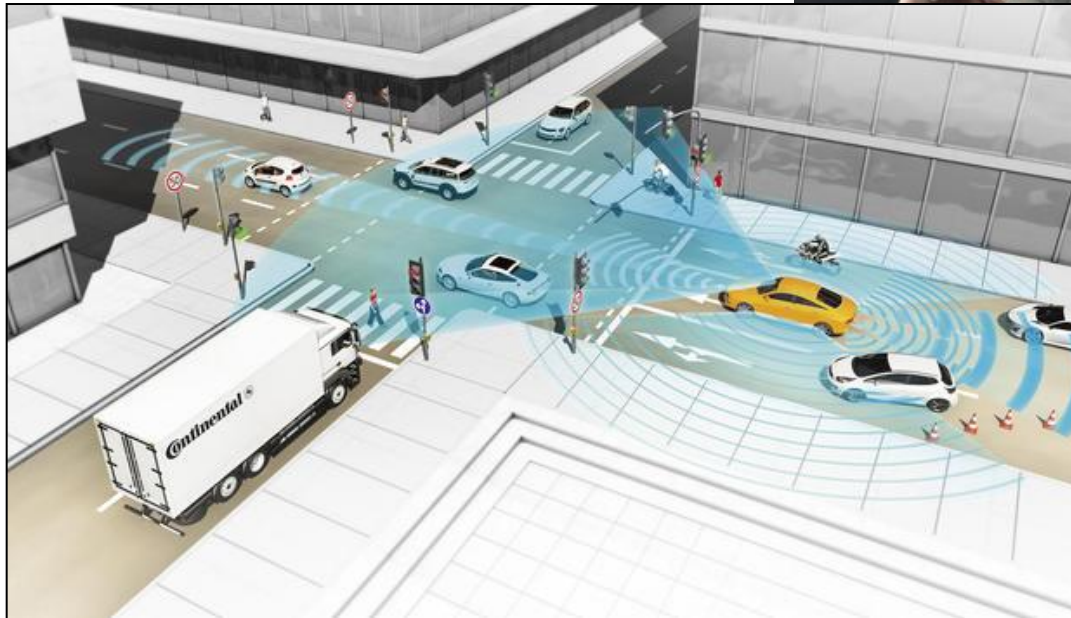


Fuzzy systém je špecifický predstaviteľ
znalostného systému.

Príklad:

Autonómne vozidlo

náhrada ľudského šoféra s jeho znalosťami a praktickými skúsenosťami strojom



Úloha: Riadenie rýchlosti auta na diaľnici



Príklad pravidiel pre riadenie rýchlosti auta na diaľnici

- **ak auto vpredu sa stredne rýchlo vzdáľuje → stredne pridávajú**
- **ak sa auto vpredu rýchlo približuje → stredne brzdí**
- **ak je auto vpredu je blízko a vzdialenosť sa nemení → nemeň rýchlosť**
- **a iné ...**

Množina všetkých pravidiel potrebných na spoľahlivé riadenia auta na diaľnici (alebo pre inú aplikáciu) sa nazýva “báza pravidiel”.

Použité lingvistické premenné

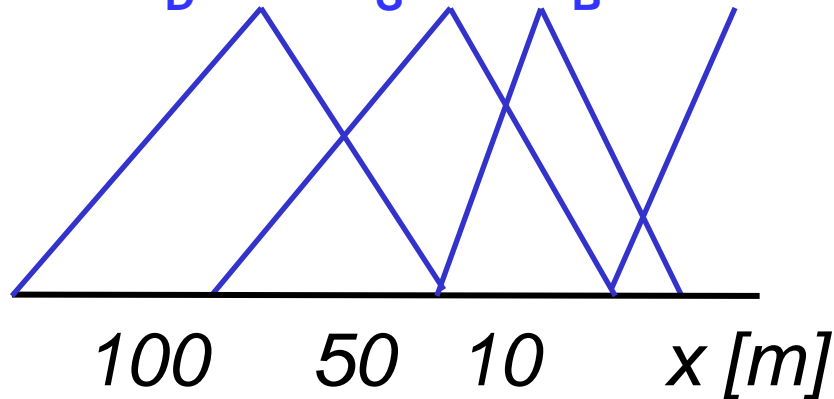
vzdialenosť (auta vpredu)

d'aleko stredne blízko ...

D

S

B



plyn/brzda

pridaj veľa stredne mierne nula brzdi

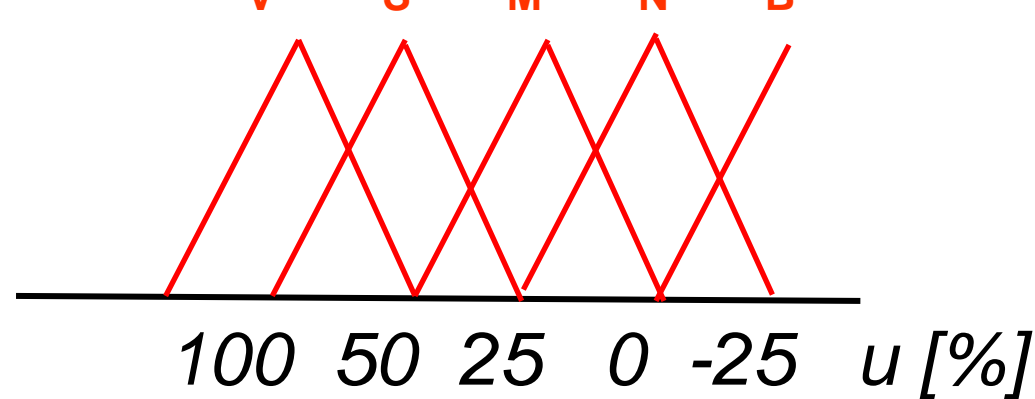
V

S

M

N

B



zmena vzdialenosti

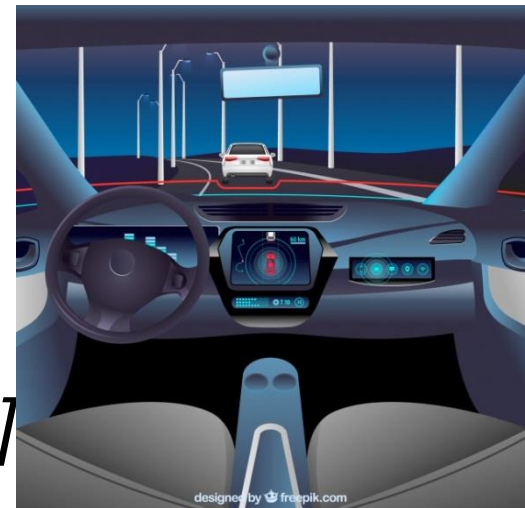
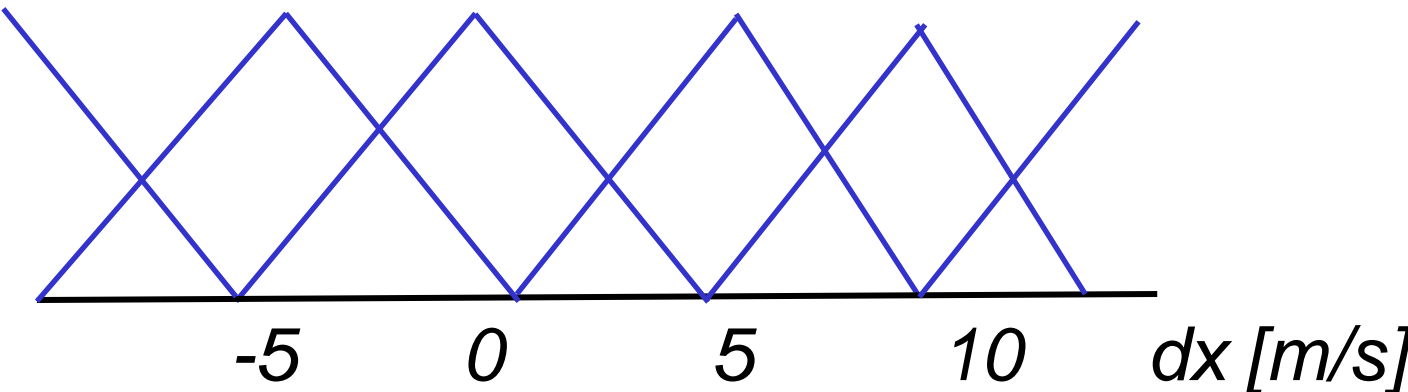
klesá nemení_sa rastie prudko_rastie ...

K

N

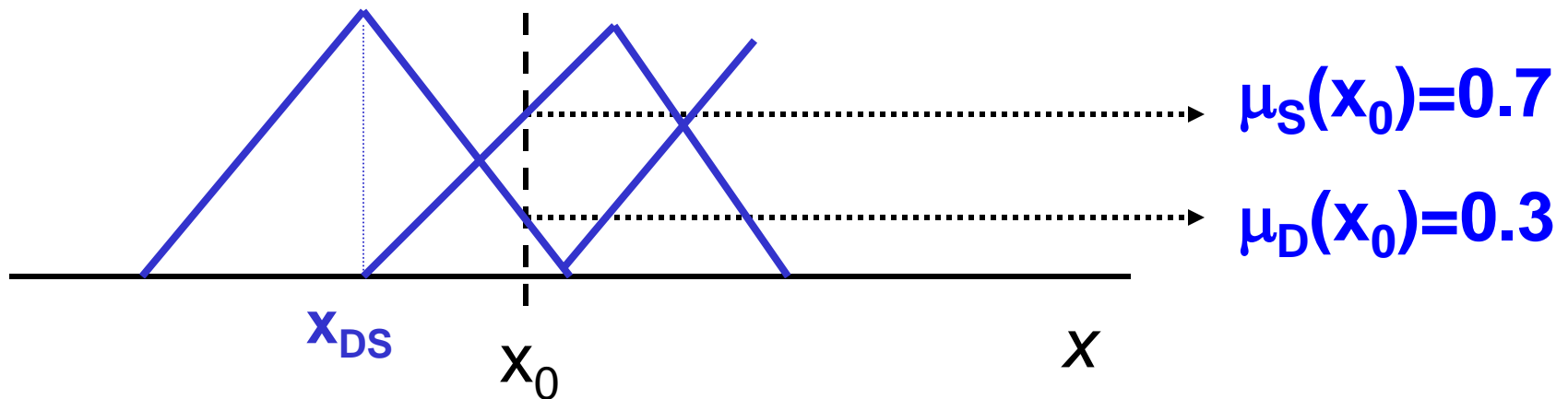
R

P



krok 1. Fuzifikácia

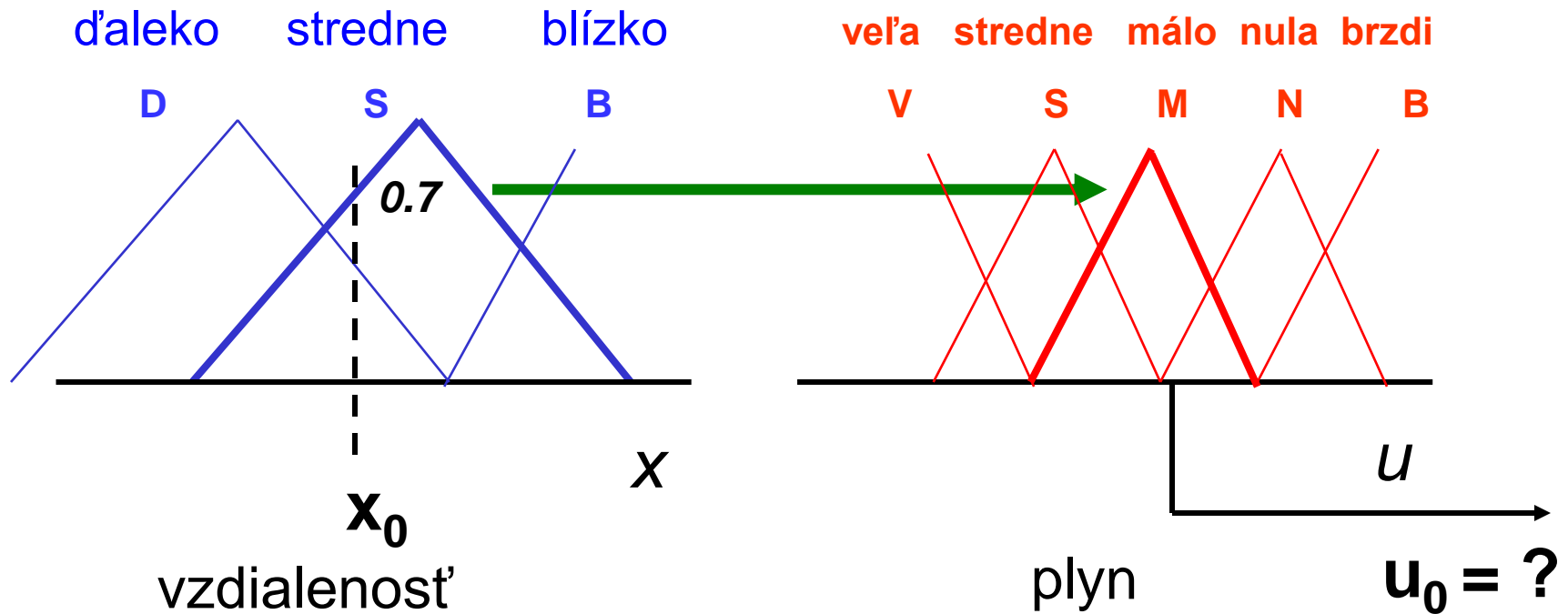
d'aleko (D) stredne (S)



$$\mu_D(x) = a_1x + b_1 ; \text{ ak } x < x_{DS} , \quad \mu_D(x) = a_2x + b_2 ; \text{ ak } x \geq x_{DS}$$

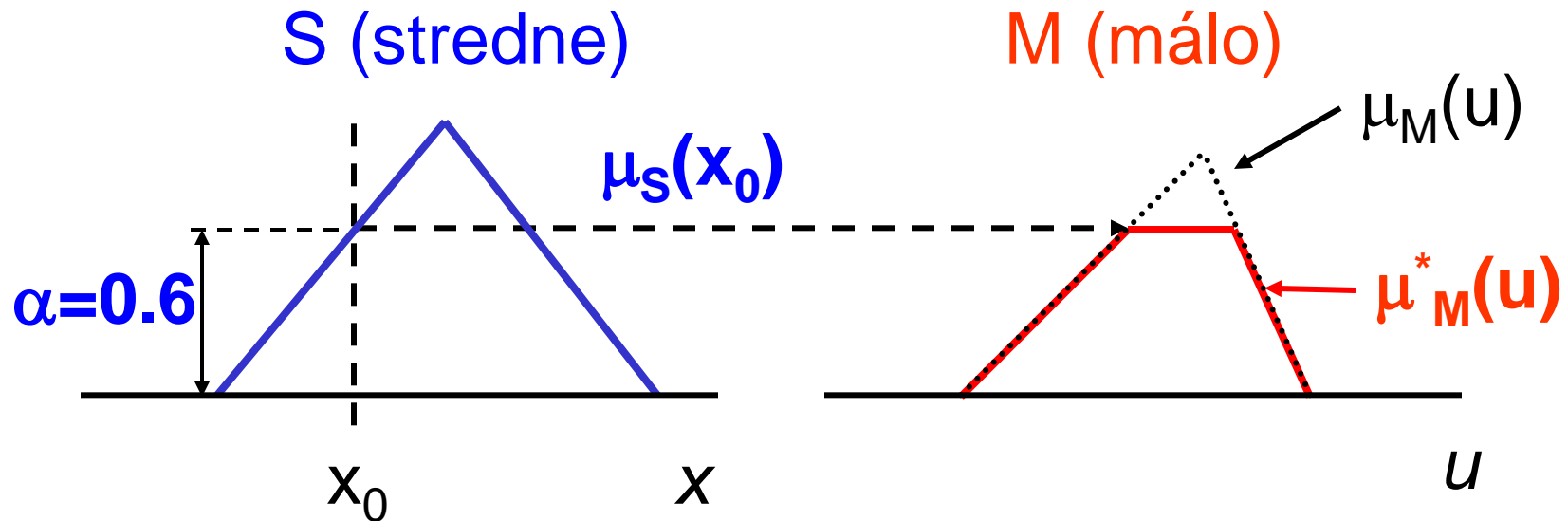
$$\mu_S(x) = \dots$$

krok 2. Implikácia



Ak **vzdialenosť** je stredná, potom **plyn je málo**
potom → “implikácia”

Mamdaniho implikácia – “orezanie”



$$\mu^*_M(u) = \mu_M(u) \quad \text{ak } \mu_M(u) < \alpha, \quad \text{inak } \mu^*_M(u) = \alpha$$

„obmedzenie (orezanie) fun. prísl. na alfa hodnotu“

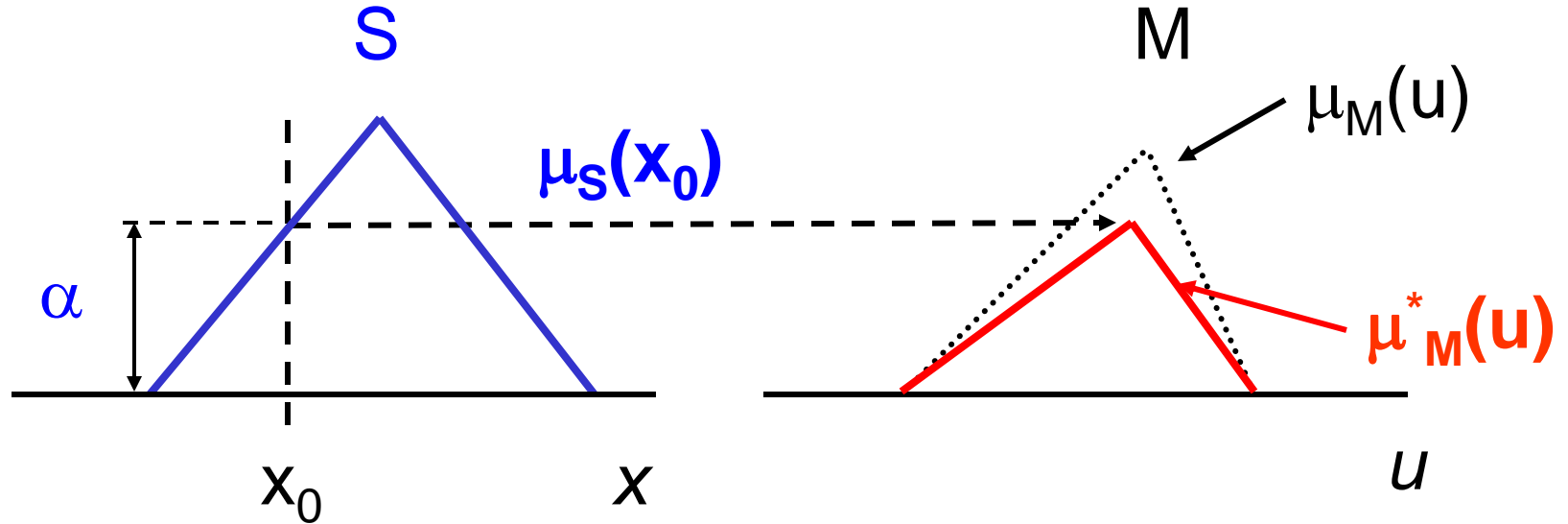
$$\mu^*_M(u) = \min[\alpha, \mu_M(u)]$$

Implikácia vyjadruje váhu (silu) aktuálneho pravidla.

Pravidiel môže platiť viac súčasne, každé s nou váhou (α).

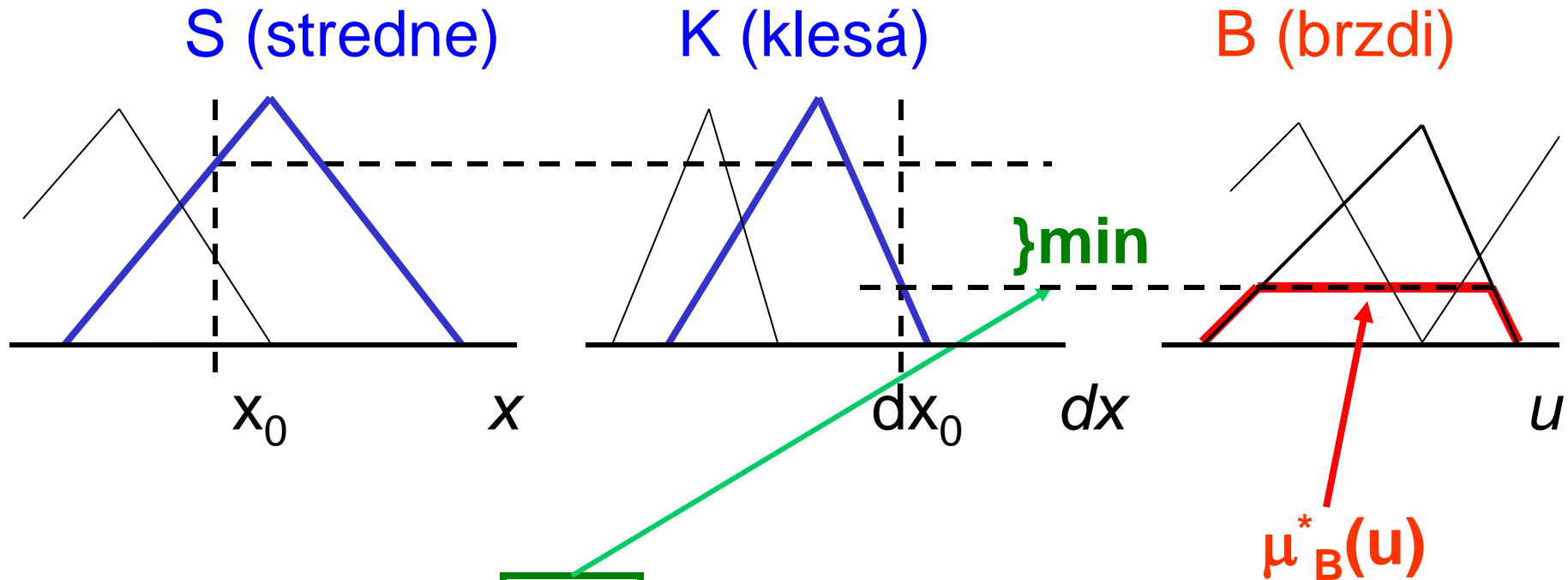
Toto pravidlo platí na 70% ($\alpha=0.7$).

Larsenova implikácia – “zníženie”



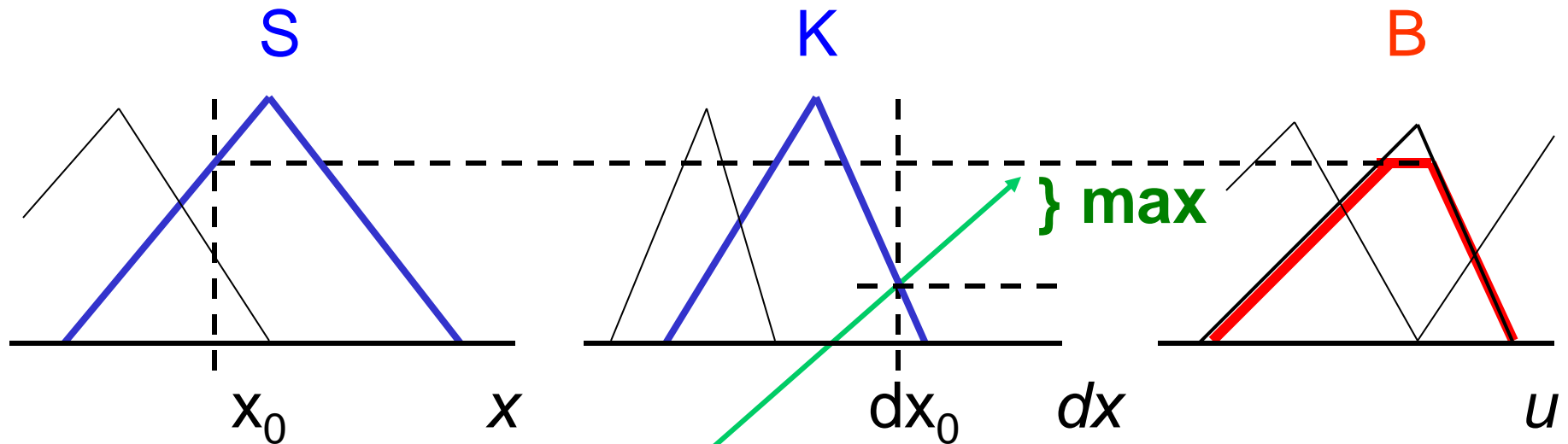
$$\mu^*_M(u) = \mu_M(u) \cdot \alpha \quad \text{..... „zníženie } \mu_M(u) \text{ alfa krát“}$$

Viac podmienok v antecedente



If x is **S** and dx is **K** then u is **B**

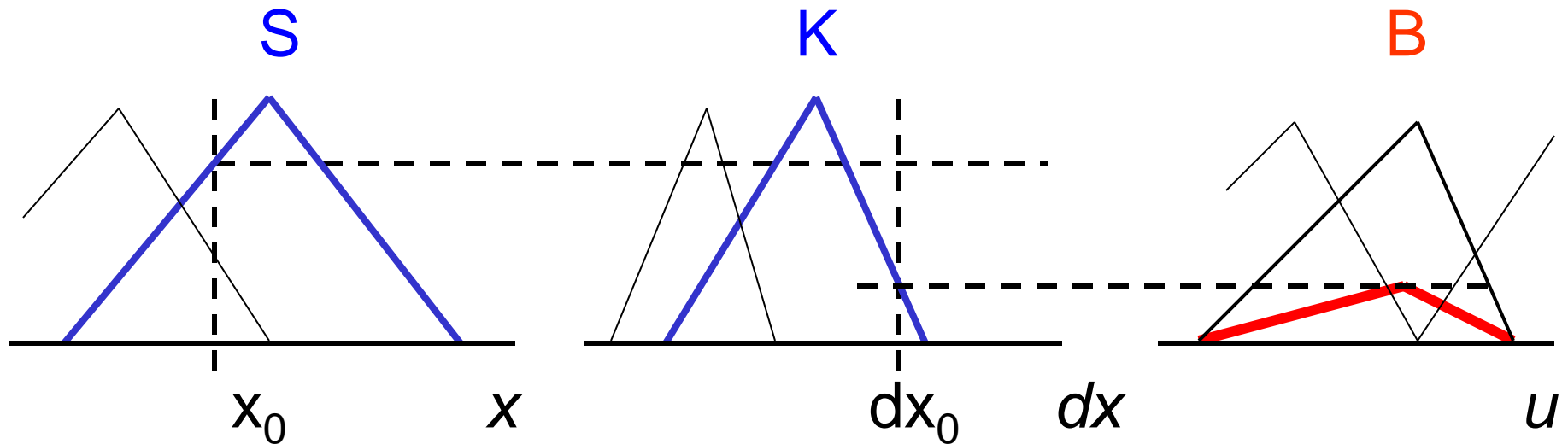
Ak vzdialenosť je stredná a klesá, potom brzdi.



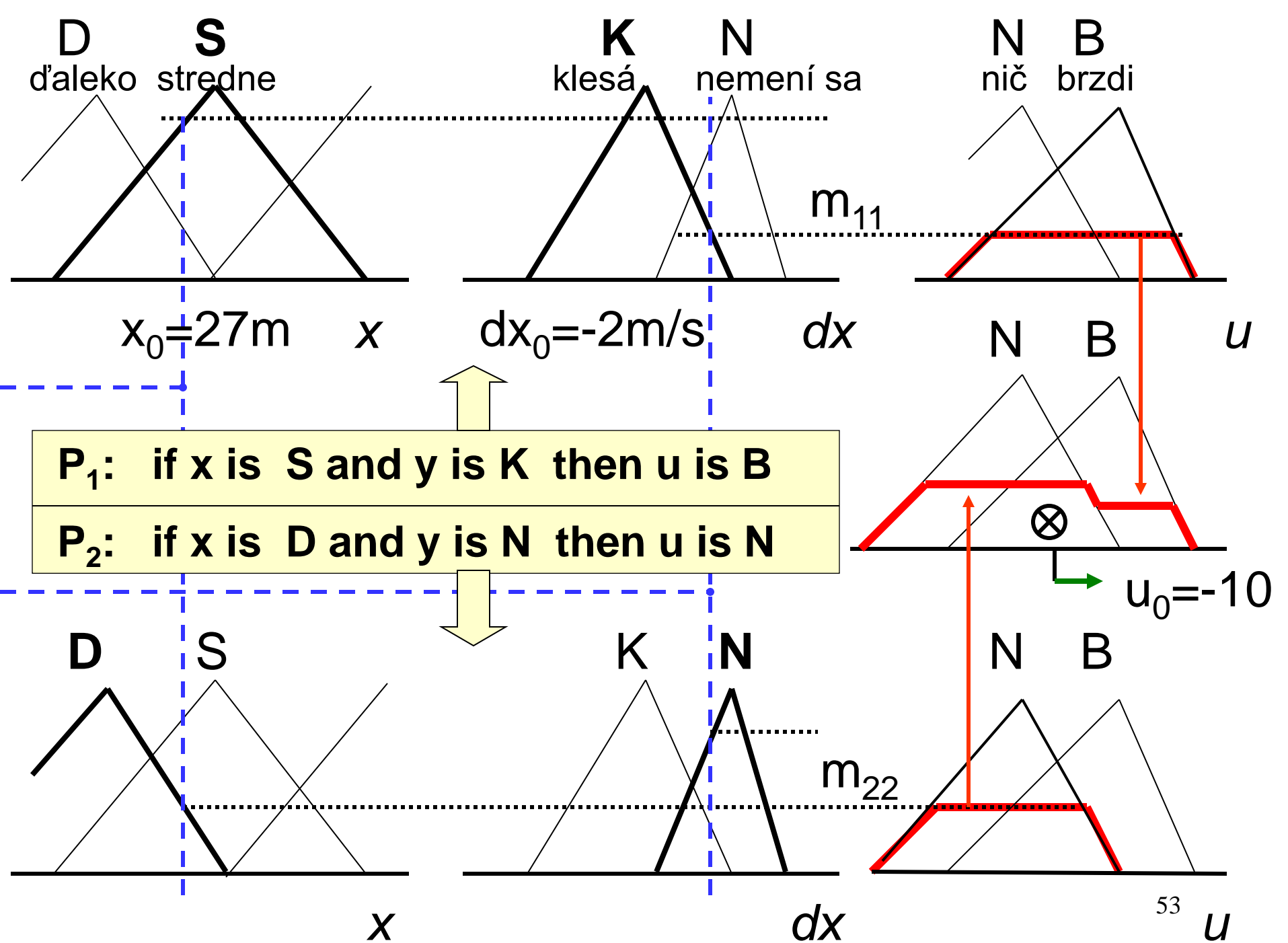
If x is S or dx is K then u is B

Ak vzdialenosť je stredná alebo klesá, potom brzdi.

pre Larsenovu implikáciu



If **x** is **S** and **dx** is **K** then **u** is **B**



krok 3. Kompozícia

Zjednotenie konzekventov všetkých aktivovaných pravidiel

V konkrétnom okamžiku môžu byť vo fuzzy systéme aktuálne (adresované) viaceré pravidlá, napr 3.

Medzi jednotlivými pravidlami platí operácia alebo.

P_1 : ak x je S a dx je K potom u je B


alebo

P_2 : ak x je D a dx je N potom u je M

alebo

P_3 : ak x je D a dx je K potom u je N

Kompozícia:


$$\mu(u) = \max \{ \mu_1^*(u), \mu_2^*(u), \mu_3^*(u) \}$$

Kompozícia pre 3 pravidlá:

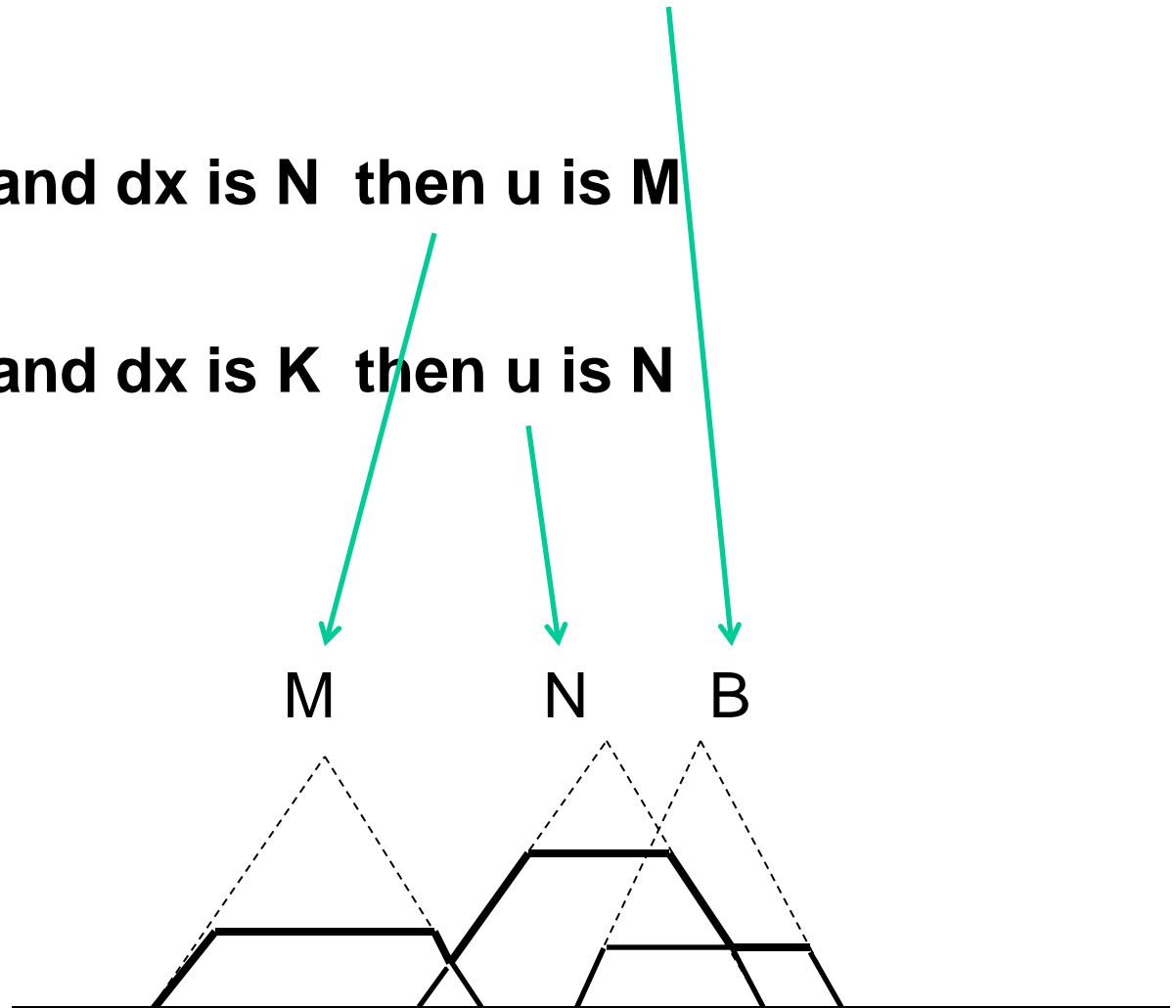
P_1 : if x is S and dx is K then u is B

(or)

P_2 : if x is D and dx is N then u is M

(or)

P_3 : if x is D and dx is K then u is N



Kompozícia pre 3 pravidlá:

P_1 : if x is S and dx is K then u is B

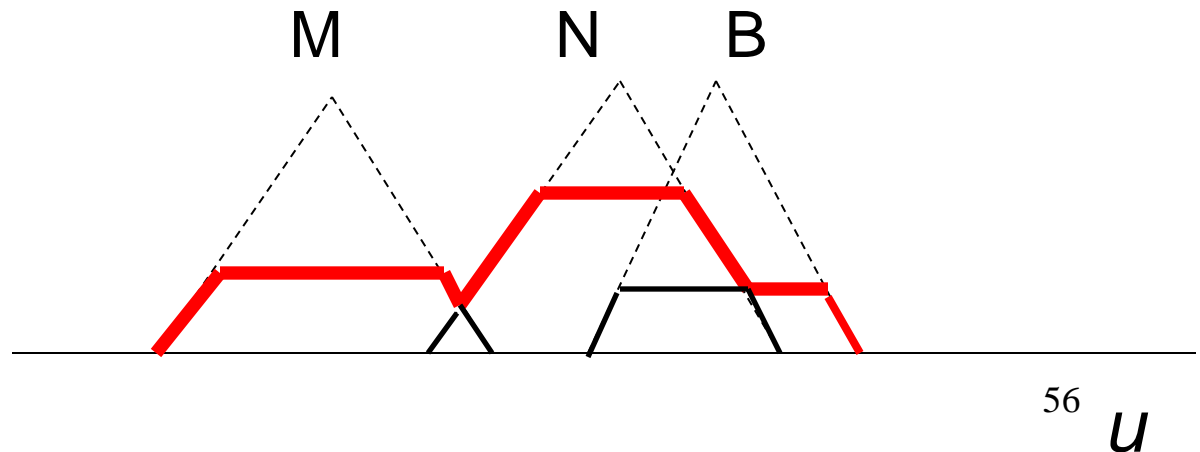
(or)

P_2 : if x is D and dx is N then u is M

(or)

P_3 : if x is D and dx is K then u is N

**Kompozícia
(zjednotenie)**



Pre jednoduchosť teraz uvažujme, že v istom okamihu sú (s rôznou váhou) adresované práve tieto 2 pravidlá:

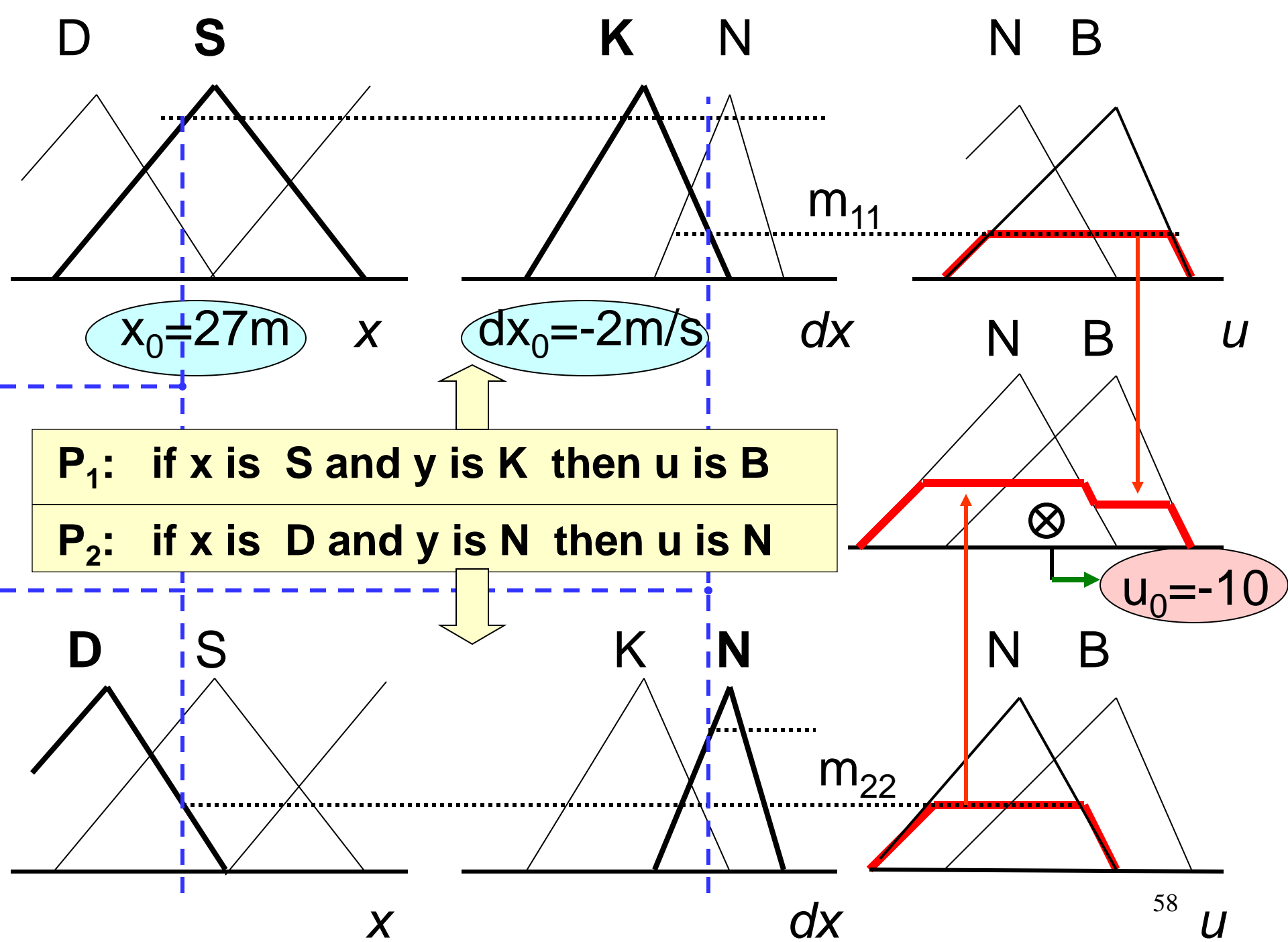
P_1 : if x is S and dx is K then u is B

P_2 : if x is D and dx is N then u is M

čiže

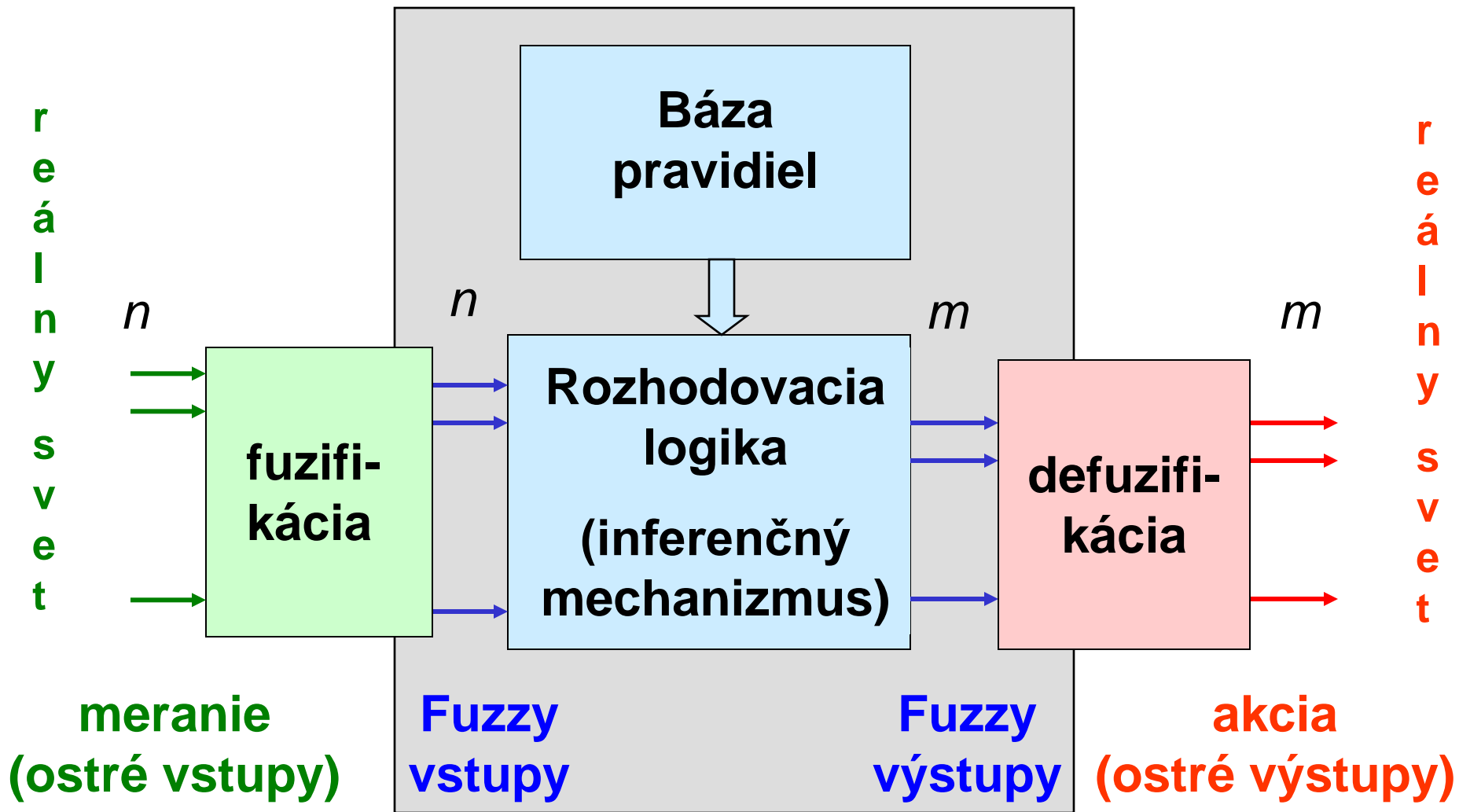
P_1 : Vzdialenosť je stredná a klesá \rightarrow brzdi

P_2 : Vzdialenosť je dlhá a nemení sa \rightarrow mierne pridaj

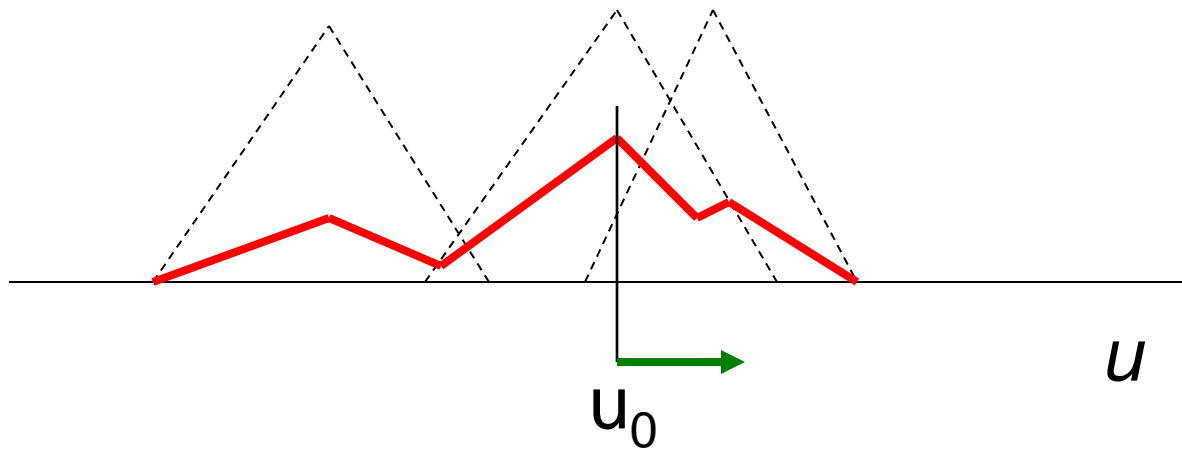


krok 4. Defuzifikácia

**transformácia fuzzy konzekventov
(dôsledkov, pravých strán pravidiel)
na veličiny reálneho sveta
(na ostré veličiny, napr. reálne čísla ...)**



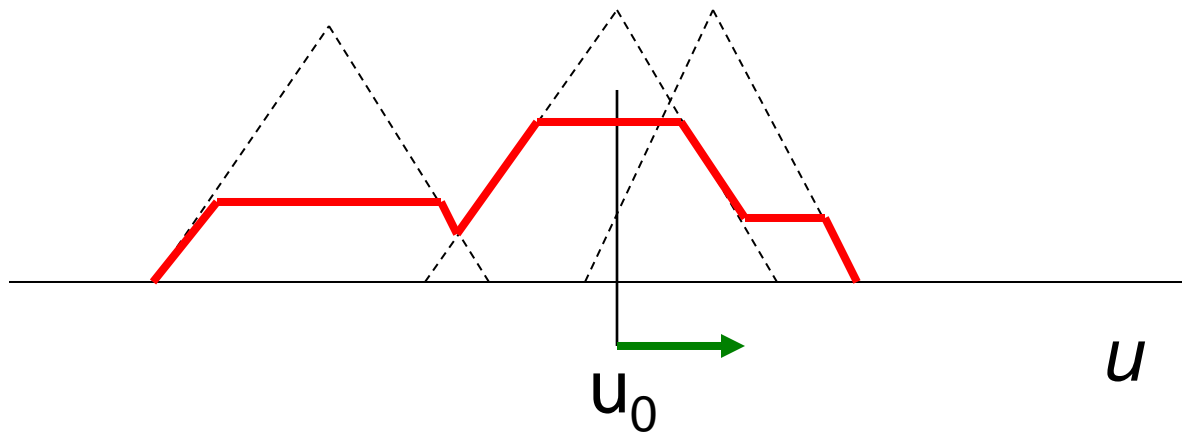
Metóda maxima



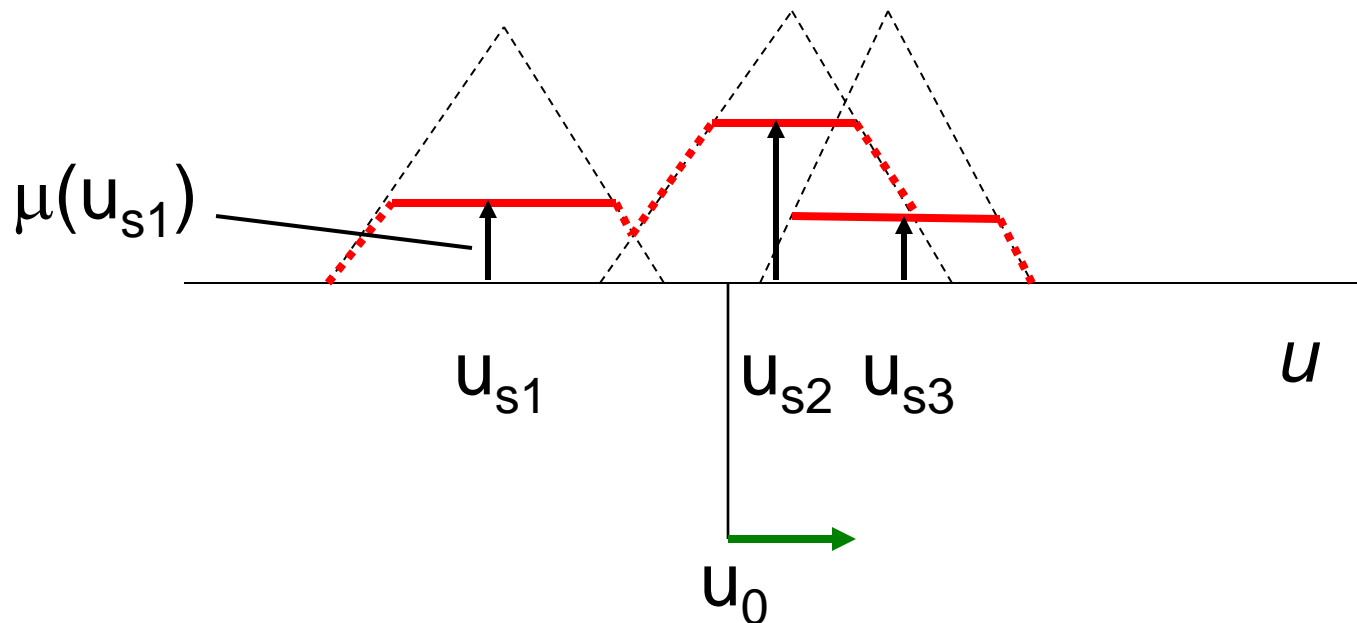
$$\mu(u_0) = \max[\mu^*(u)]$$

**V prípade Mamdaniho implikácie sa používa
modifikácia :**

Metóda stredu maxima (MOM)



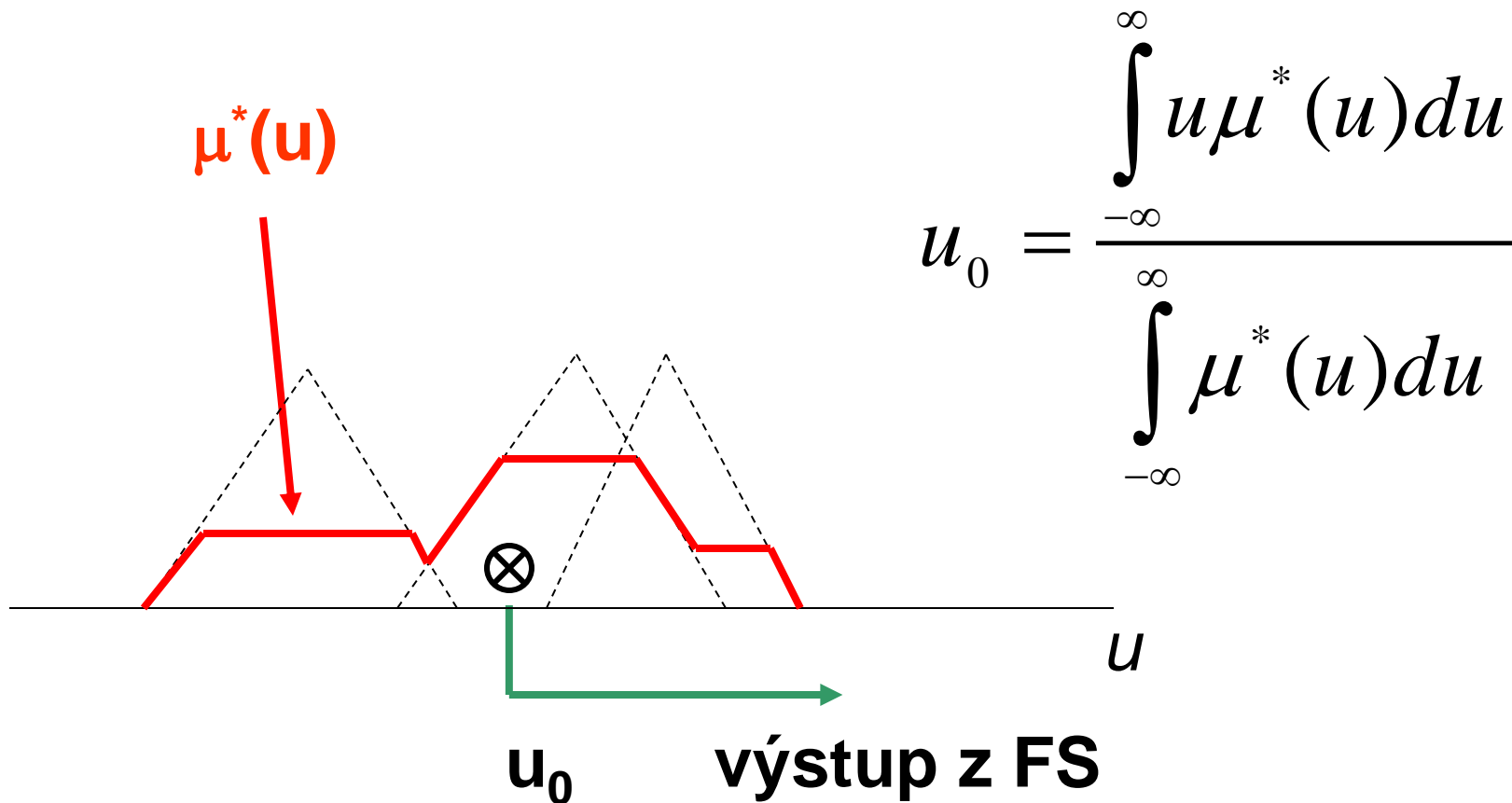
Metóda výšok (MH)



$$u_0 = \frac{\sum_{k=1}^n u_{sk} \mu_k(u_{sk})}{\sum_{k=1}^n \mu_k(u_{sk})}$$

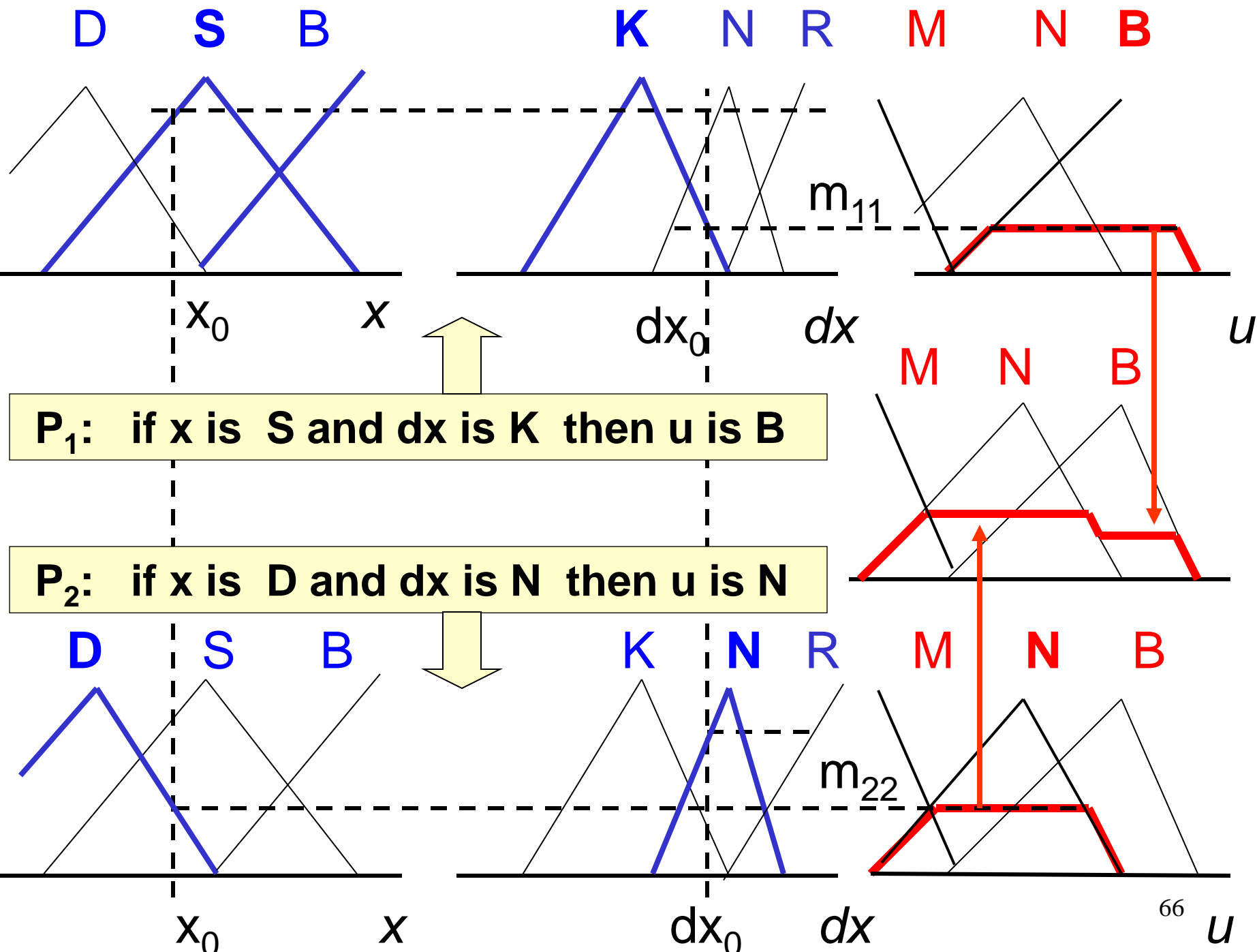
Ťažisková defuzifikácia

(najčastejšie používaná metóda pri regulátoroch)



je u -súradnica ťažiska

Fuzzy mechanizmus - zhrnutie



Príklad použitia fuzzy logiky v administratíve: **Konkurz do zamestnania**

- a) Ak je uchádzač mladý alebo v strednom veku a má stredoškolské vzdelanie a dojem z pohovoru je dobrý → *prijat' do výroby*
- b) Ak má uchádzač vysokoškolské vzdelanie a dojem z pohovoru je vynikajúci → *prijat' do vývoja*
- c) ...



Príklad: posudzovanie ceny nehnuteľnosti

Ak dom je v dobrej lokalite a je pomerne zachovalý a je veľký → jeho cena bude vyššia



Typy fuzzy systémov:

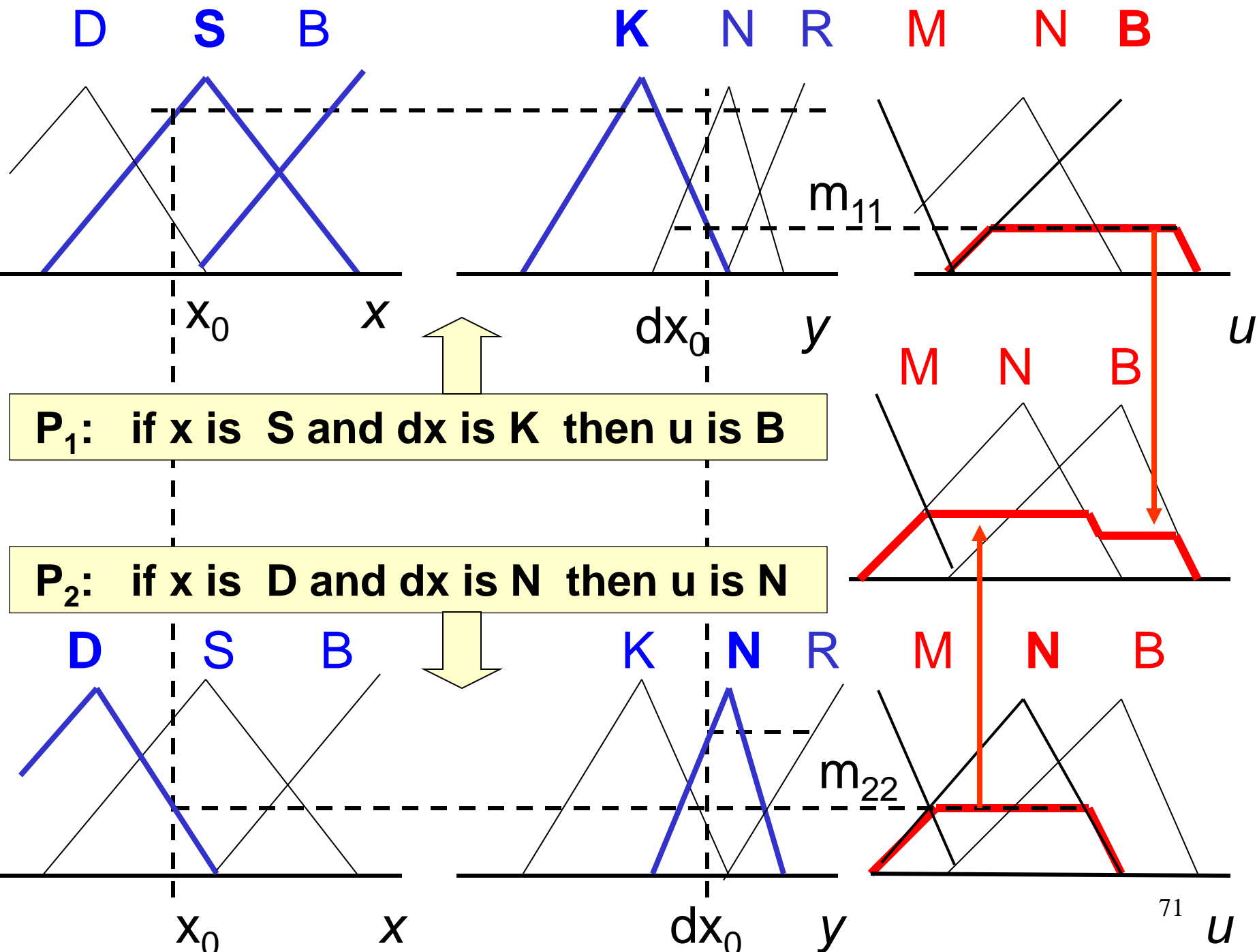
a) Mamdani

b) Takagi-Sugeno („Sugeno“)

Fuzzy systém typu Mamdani

Ak x_1 je A a x_2 je B a x_3 je C potom u je D
 x_i, u sú lingvistické premenné

A,B,C,D... sú fuzzy množiny



Fuzzy systém typu Sugeno

Ak x_1 je A a x_2 je B a x_3 je C ...

potom u je $(a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + \dots)$

alebo (častejšie)

potom u je a_0

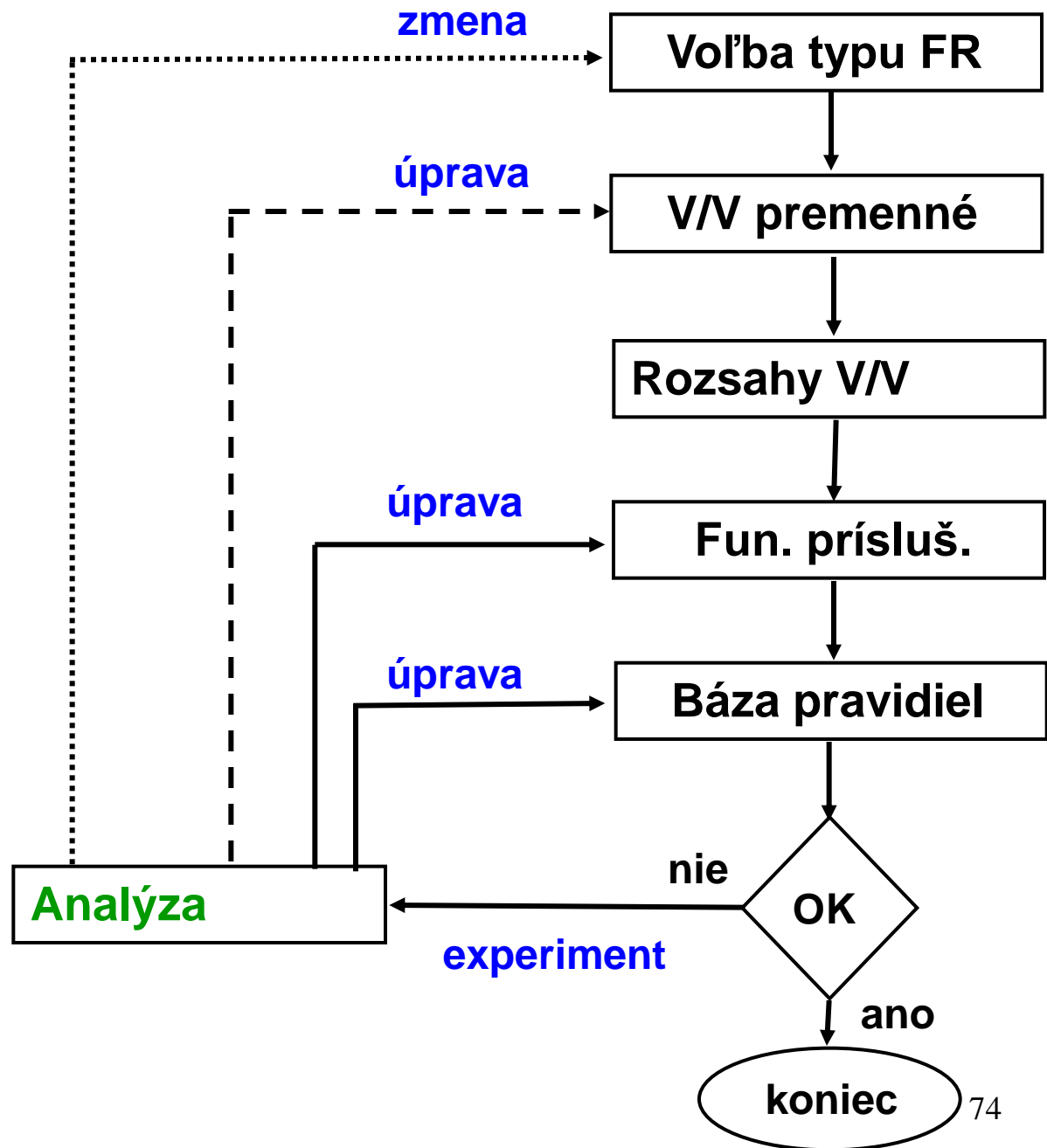
x_i, u sú lingvistické premenné

A, B, C... sú fuzzy množiny

a_i sú reálne konštanty

Postup tvorby fuzzy systému

Kroky návrhu FS :



Niektoré iné aplikácie fuzzy riadenia

- Rozhodovacie procesy v administratíve, HR,
- Klasifikácia objektov a javov
- Diagnostika porúch
- Riadenie cementárne, čističiek vody, biotechnologických procesov
- Riadenie metra, lodí, autopilot v lietadlách, ABS
- Riadenie pohyblivého ramena raketoplánu
- Riadenie dopravy, križovatiek
- Spotrebná elektronika: expozícia v kamerách, práčky, mikrovlnky

Odporúčaná literatúra

Mathworks, Matlab, Fuzzy toolbox:

<https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html>

<https://www.mathworks.com/help/fuzzy/>

<https://www.mathworks.com/videos/getting-started-with-fuzzy-logic-toolbox-part-1-68764.html>