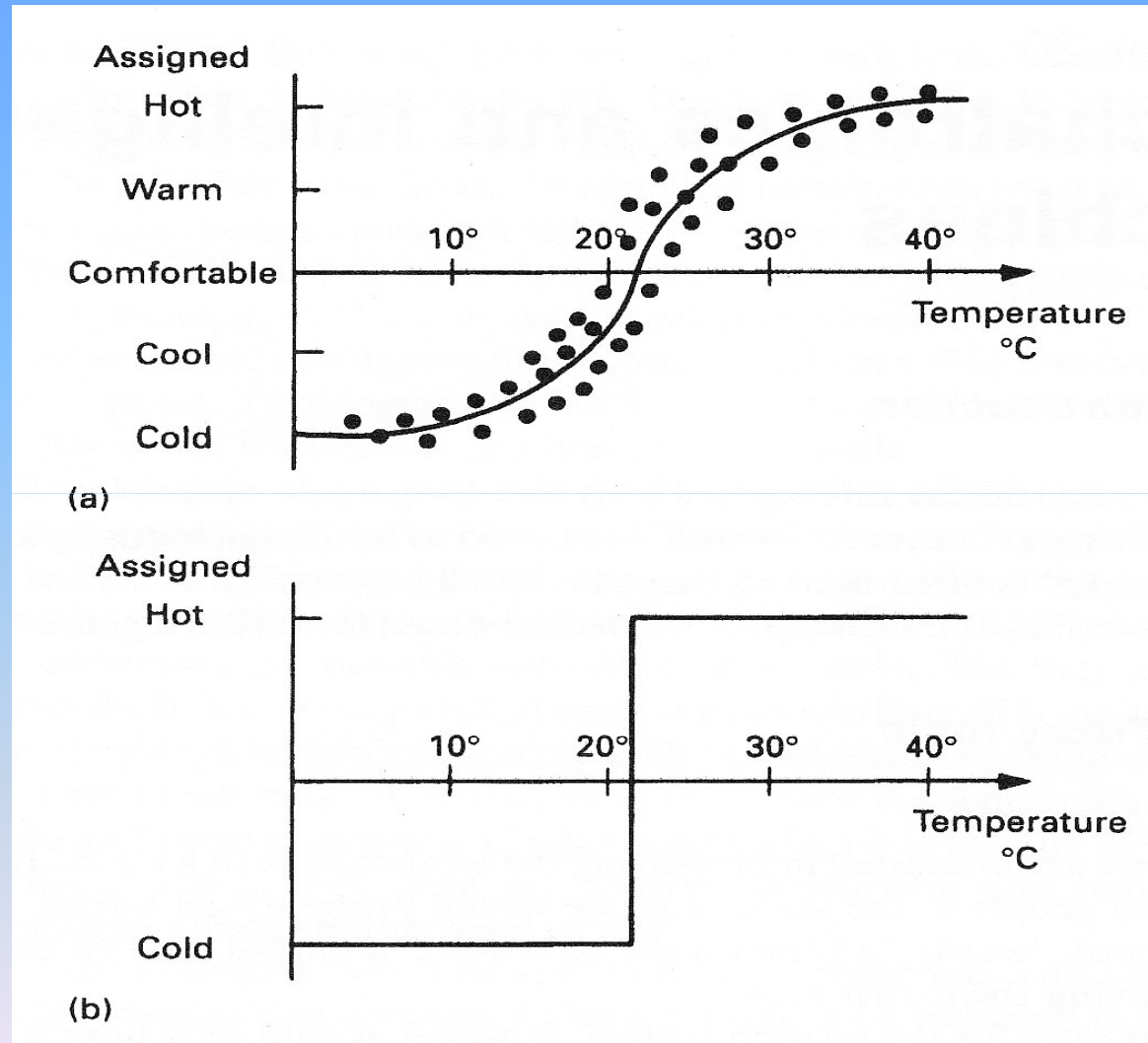


MEHATRONIKA I INTELIGENTNI STROJEVI

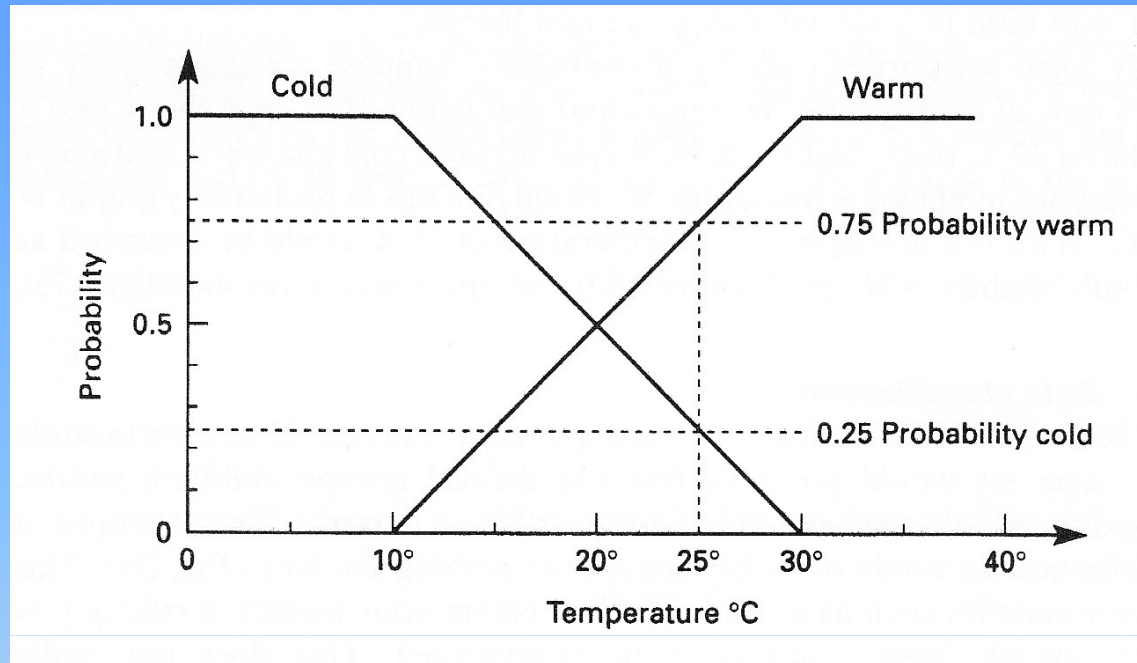
- Sama ideja o *umjetnoj inteligenciji* (*artificial intelligence – AI*) bila je vrlo dugo vemenska tema brojnih znanstvenih istraživanja
- Posljednjih godina ideje umjetne inteligencije našle su široku primjenu u industrijskim procesima pa se izrazom “**mehatronika**” (*mechatronics*) nazivaju inteligentni strojevi i sustavi
- **Fuzzy logika**
- Npr. traži se da se izmjeri temperatura u sobi
- Ako se u sobi nalazi nekoliko ljudi istovremeno i ako ih se pita za visinu temperature u sobi dobiti će se cijeli niz odgovora kao što su: “hladno”, “toplo”, “malo hladno”, “prohladno”, “malo prevruće” i sl.
- Svaki odgovor od tih ljudi ovisit će o njihovom vlastitom osjetu tj. odgovori će biti subjektivni
- Termostat u sustavu grijanja, s druge strane, ima sasvim jasan “pogled”, u sobi je ili “hladno” (sustav grijanja se postavlja na ON) ili “toplo” (sustav grijanja se postavlja na OFF)

- Slika 260. daje usporedbe razlika između ljudskog pristupa koji koristi neodređene izraze i jasnog binarnog pristupa



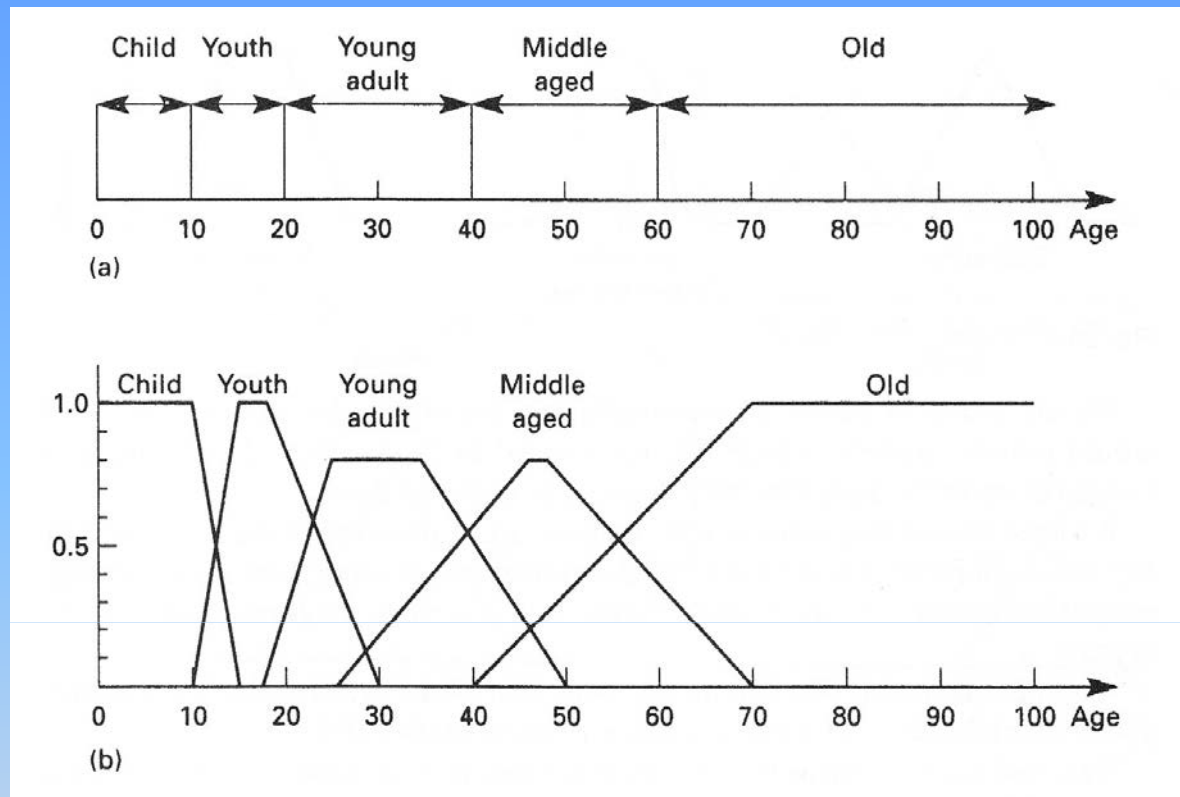
Slika 260. Razlika između ljudskog i binarnog pristupa

- Logika koja nastoji izgraditi regulacijski sustav koji radi na temelju klasificiranja stanja kao što to radi ljudski pristup zove se fuzzy logika
- Fuzzy logika kategorizira podatke pomoću vjerojatnosti
- Primjer za to može se uočiti iz već razmatrane situacije s mjerenjem temperature u sobi
- Ako promotrimo odgovore ljudi uočiti će se da je ispod 10°C svima bilo “hladno”
- Pri temperaturi od 20°C odgovori su bili podjeljeni 50/50 % između “hladno” i “toplo”
- Na temperaturi iznad 30°C svi odgovori su bili da je “vruće”
- Ovakav raspored ljudskih odgovora može se grafički prikazati kao na slici 261.
- Npr. iz grafičkog prikaza se vidi da ako je temperatura 25°C odgovori mogu varirati između “lagano hladno” (vjerojatnost ovoga odgovora je 0.25 ili 25%) i “prilično toplo” (vjerojatnost ovoga odgovora je 0.75 ili 75%)



Slika 261. Temperatura kao funkcija vjerojatnosti odgovora

- Kao što se vidi iz slika 261. podaci su smješteni u dvije grupe, toplo i hladno
- Ako se npr. proučava ljudska dob vjerojatno će se definirati pet grupa i to: djeca, mladi, mlađi odrasli, srednja dob i stariji
- Ako se pokuša dobiti jasna definicija veličine svake grupe dobiti će se grafički prikaz kao na slici 262.a)



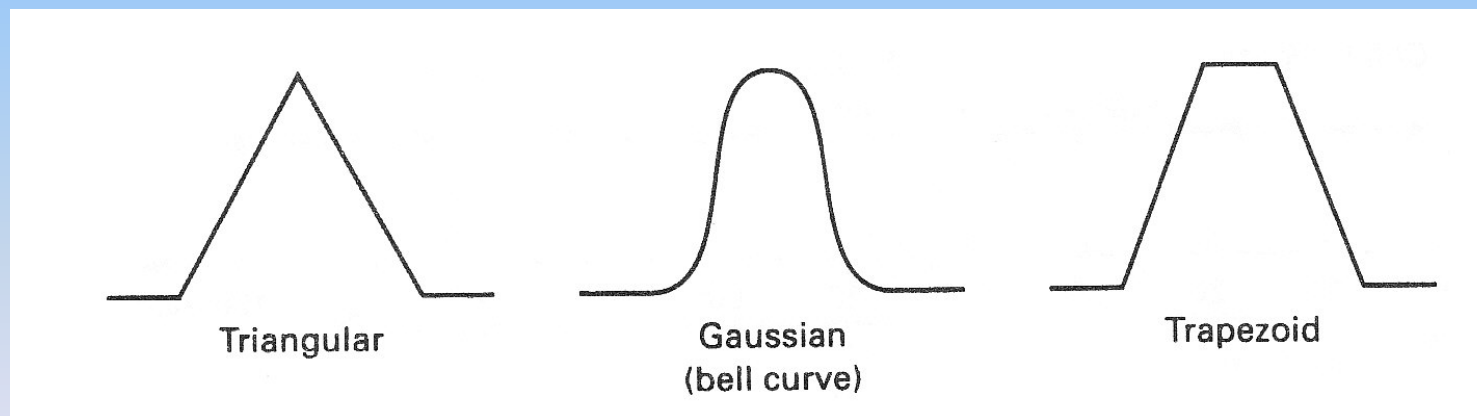
Slika 262. Podjela ljudske dobi u pet grupa: a) jasna podjela grupa, b) vjerojatnost veličine pojedine grupa

- Ovakva podjela veličine grupa kao na 262.a) vodi do anomalija i ne odgovara stvarnosti
- Puno realističniji je prikaz na 262.b) gdje je vjerojatnostima definirana veličina svake grupe

- Tako npr. dob od 37 godina netko opisuje kao “stariji mladić” (vjerojatnost 0.05 ili 5%), netko kao “mlađi odrasli” (vjerojatnost 0.85 ili 85%) a netko kao “približavanje srednjom dobi” (vjerojatnost 0.10 ili 10%)
- Prvi stupanj kod fuzzy logike je određivanje klasifikacije podataka
- Najpoznatiji način klasifikacije podataka kod fuzzy logike je korištenje sedam klasifikacijskih grupa:

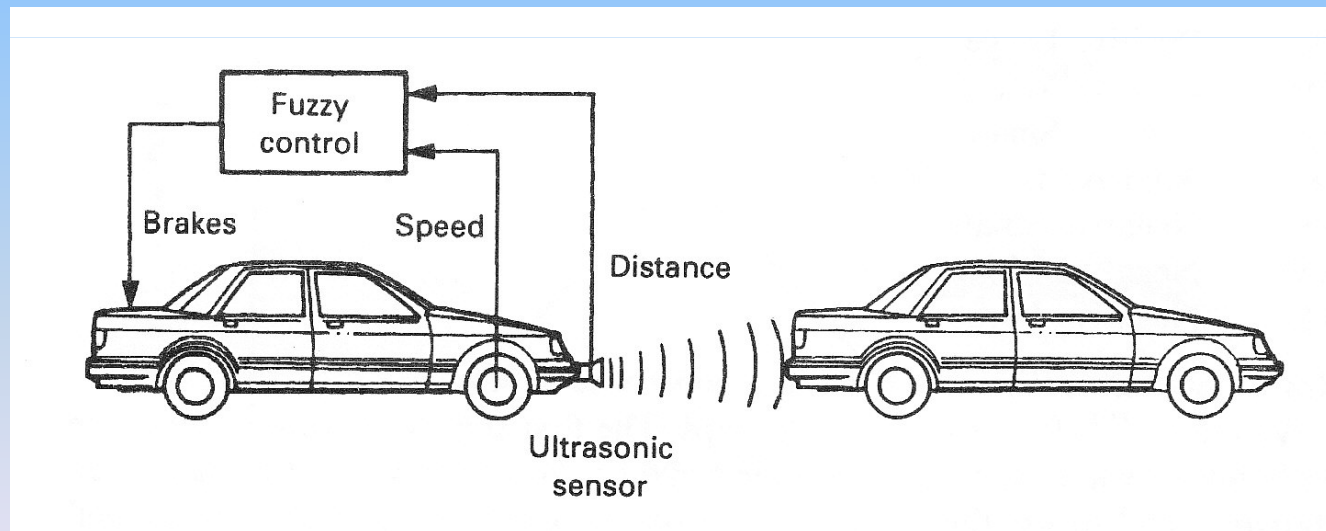
OZNAKA	OPIS (eng.)	OPIS (hrv.)
PL	Positive Large	pozitivno velika
PM	Positive Medium	pozitivno srednja
PS	Positive Small	pozitivno mala
ZR	Approximately Zero	približno nula
NS	Negative Small	negativno mala
NM	Negative Medium	negativno srednja
NL	Negative Large	negativno velika

- Sljedeći korak je da se razmotri način širenja vjerojatnosti
- U slučajevima prikazanima na slikama 260. i 262. korištene su ravne linije za prikaz širenja vjerojatnosti
- U prikazivanju raspodjele vjerojatnosti mogu se koristiti tri vrste krivulja i to trokutna, Gaussianova (zvonasta) krivulja i trapezoidna krivulja (slika 263.)
- Iako je Gaussianova (zvonasta) krivulja najrealističnija krivulja, najčešće se koriste trokutna i trapezoidna krivulja za prikaz raspodjele vjerojatnosti



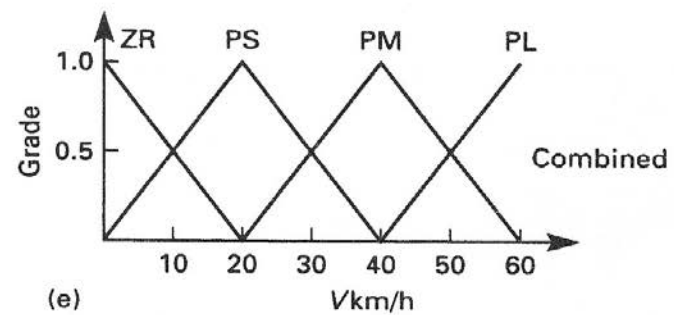
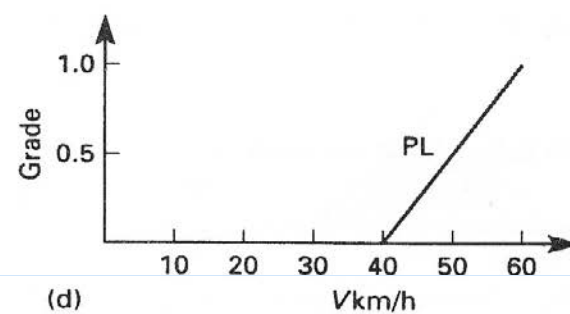
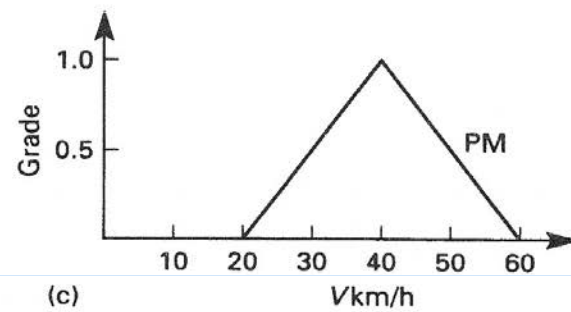
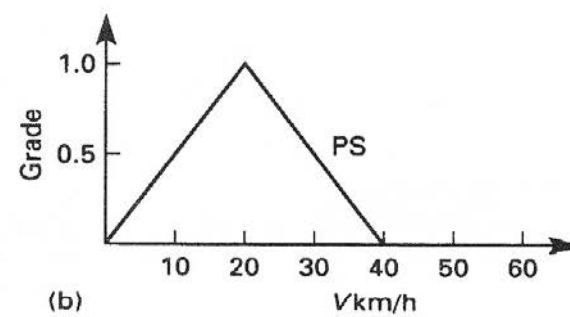
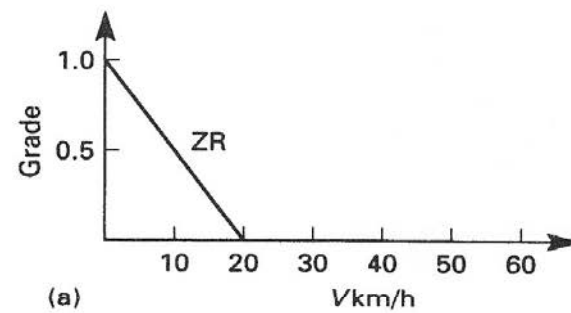
Slika 263. Distribucijske krivulje

- Promotriti će se primjer projektiranja automatskog sustava kočenja za automobile koji koristi fuzzy logiku
- Potrebna su dva analogna signala i to brzina vozila i udaljenost od vozila ispred
- Regulacijski sustav s fuzzy logikom obraditi će ova dva analogna signala i dati će jedan izlazni signal koji će kontrolirati kočnice automobila
- Na slici 264. prikazan je blok dijagram ovoga regulacijskog sustava

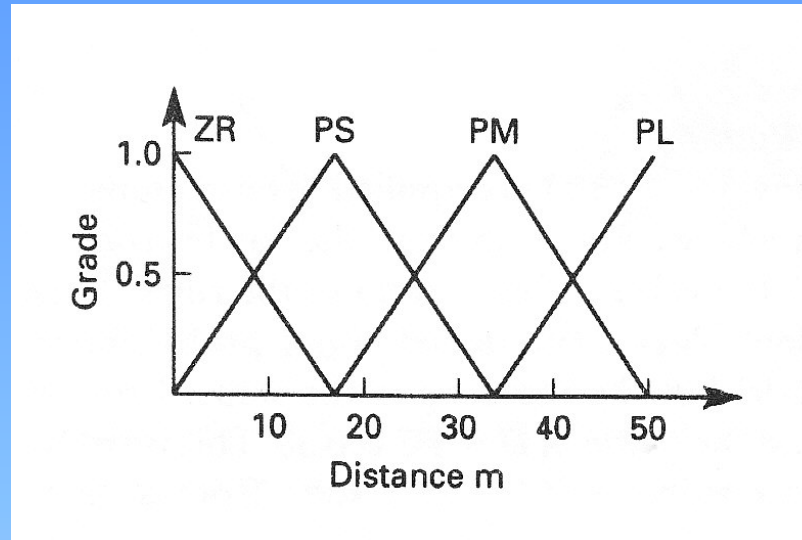


Slika 264. Regulacijski sustav kočnica automobila

- Prvo će se klasificirati dva ulazna signala koristeći četiri od sedam mogućih klasifikacijskih grupa i to ZR grupa (približno nula) i tri pozitivne grupe (PS, PM i PL)
- Može se pretpostaviti da vozilo ima brzinu:
 - *približno nula u području od brzine 0 km/h do brzine od 20 km/h*
 - *da vozi sporo u području od brzine 0 km/h pa do 40 km/h*
 - *da vozi srednje brzo u području od brzine 20 km/h pa do 60 km/h*
 - *da vozi brzo u području iznad brzine 40 km/h*
- Četiri grupe u koje smo klasificirali brzinu gibanja vozila prikazane su na slici 265. a), b), c) i d), te sve četiri kombinirane na jednom grafu na slici 265. e)
- Kombinirano prikazivanje je uobičajeno u upotrebi u regulacijskim sustavima fuzzy logike
- Slijedeći korak je da se klasificira udaljenost od vozila ispred
- Ova klasifikacija je prikazana na slici 266. kombiniranom obliku

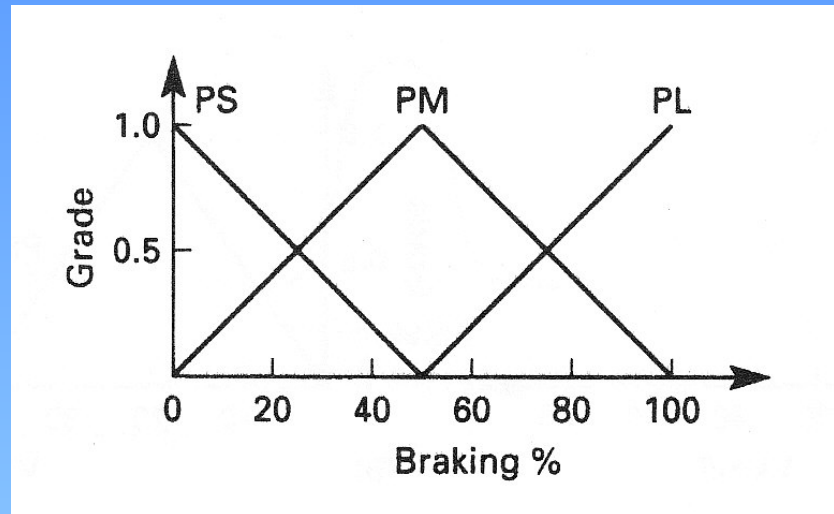


Slika 265. Klasifikacija brzine vozila



Slika 266. Klasifikacija udaljenosti od vozila ispred

- Regulacijski sustav ima samo jedan izlazni signal a to je sila kočenja na kočnicama
- I ovaj izlazni signal mora se grupirati prema klasifikacijskim grupama fuzzy logike
- Tako je izlazni signal fuzzy logike klasificiran u tri grupe: PS, PM i PL
- Na slici 267. prikazana je klasifikacija izlaznog signala (sile kočenja)

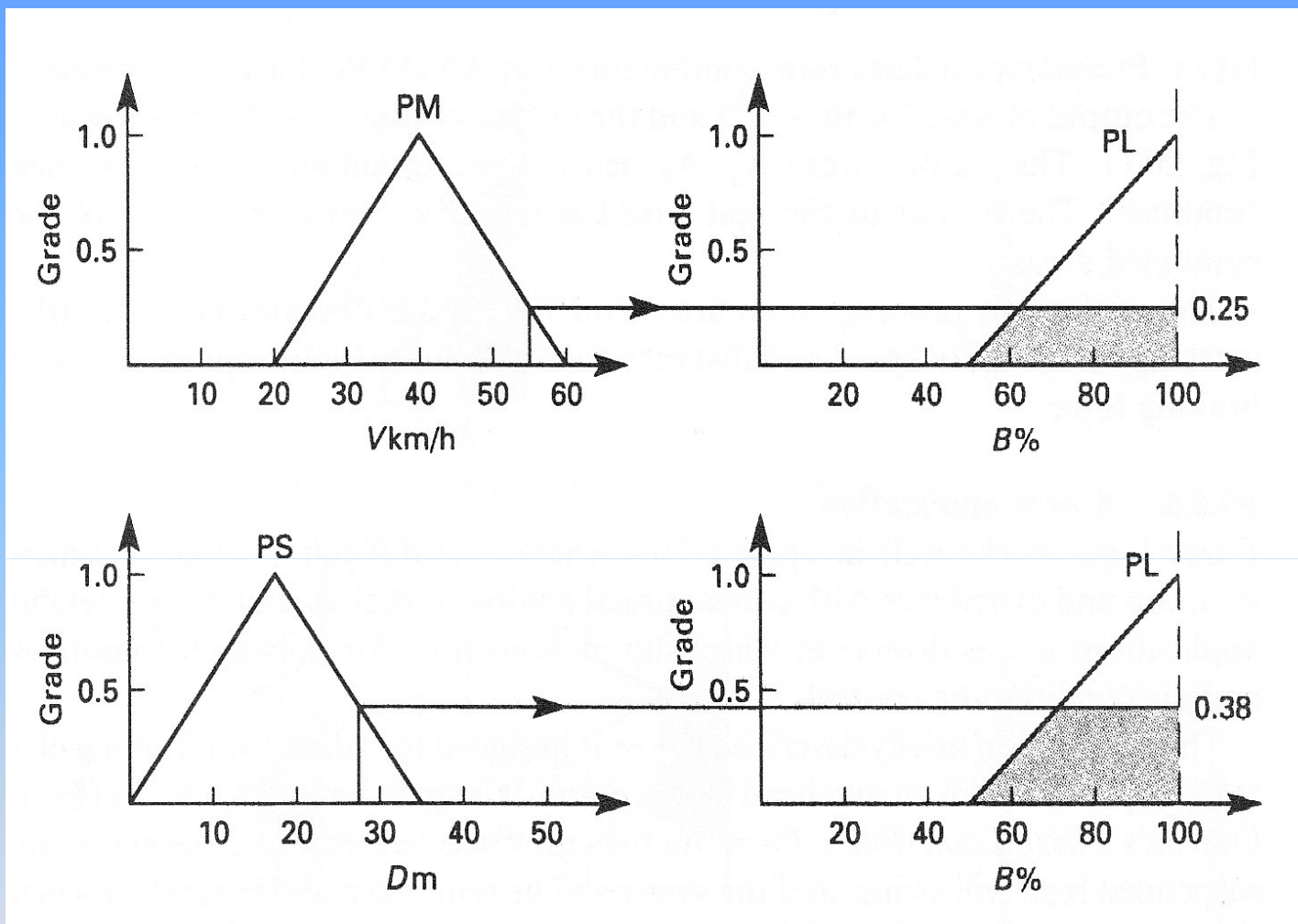


Slika 267. Klasifikacija sile kočenja

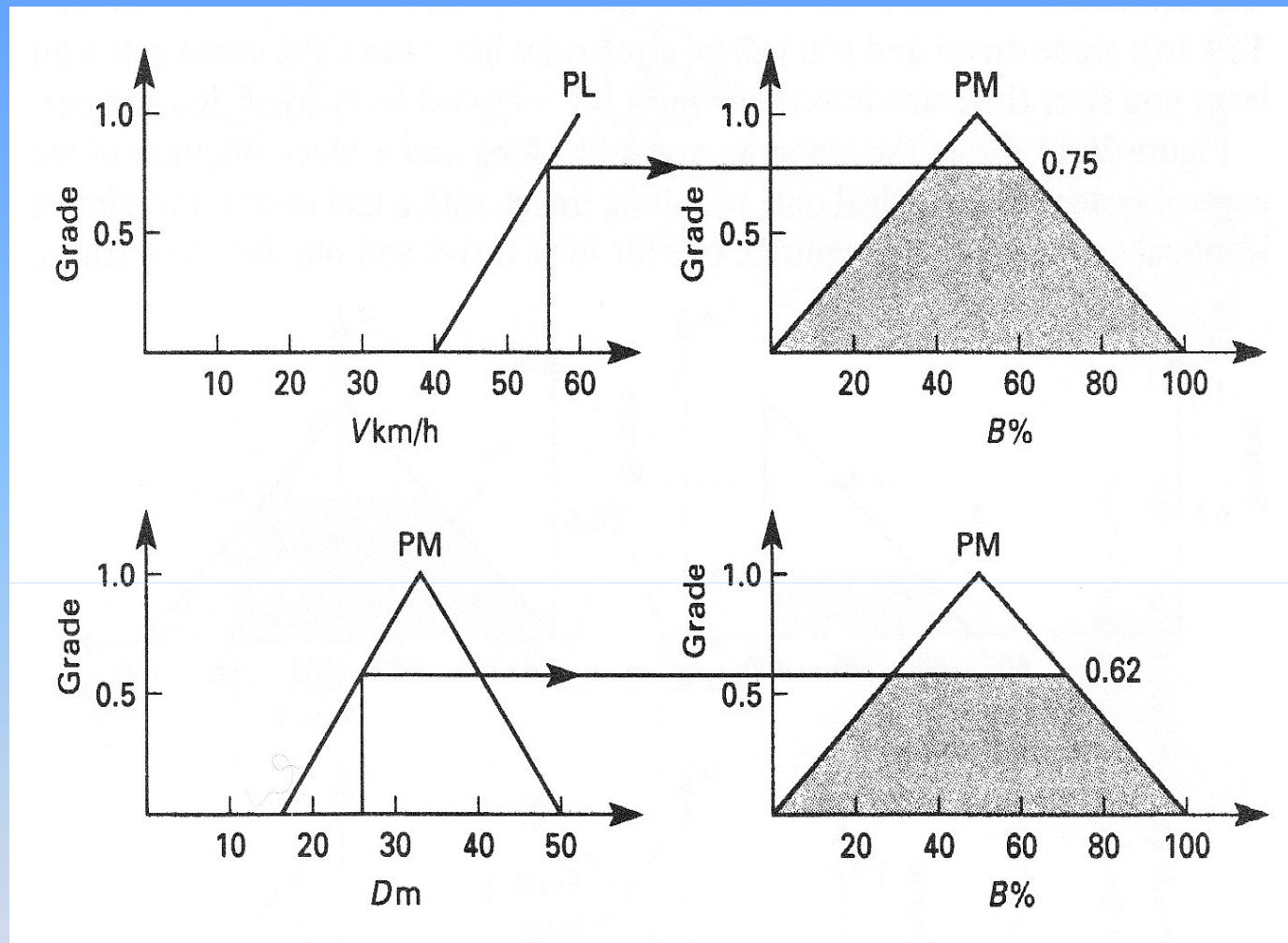
- Definicija pravila fuzzy logike

- Tekstualno se može napisati strategija kočenja s obzirom na brzinu auta i udaljenost od vozila ispred
- PRAVILO I: ako je udaljenost između vozila mala, a brzina vozila visoka, tada je sila kočenja velika
- PRAVILO II: ako je udaljenost između vozila umjereno dugačka, a brzina vozila visoka, tada je sila kočenja umjereno velika

- Ulazni i izlazni signali se mogu definirati sljedećim oznakama:
 - brzina - **V** (velocity), udaljenost - **D** (distance), sila kočenja - **B** (braking force)
- Pa se sada pravilo I i II mogu napisati koristeći petlju IF/THEN:
 - PRAVILO I: **IF $D = PS$ AND $V = PM$ THEN $B = PL$**
 - PRAVILO II: **IF $D = PM$ AND $V = PL$ THEN $B = PM$**
- Ova dva pravila se mogu prikazati grafički na dijagramima (slika 268. i slika 269.)
- Navedena pravila se mogu promotriti na praktičnom primjeru
- Pretpostavka je da se vozilo kreće brzinom od 55 km/h, a vozilo ispred je udaljeno 27 m
- Prema *pravilu* I, vjerojatnost da je $V = PM$ je 0.25, a da je $D = PS$ je 0.38 (slika 268.) zajedno s preslikavanjem na graf gdje je $B = PL$



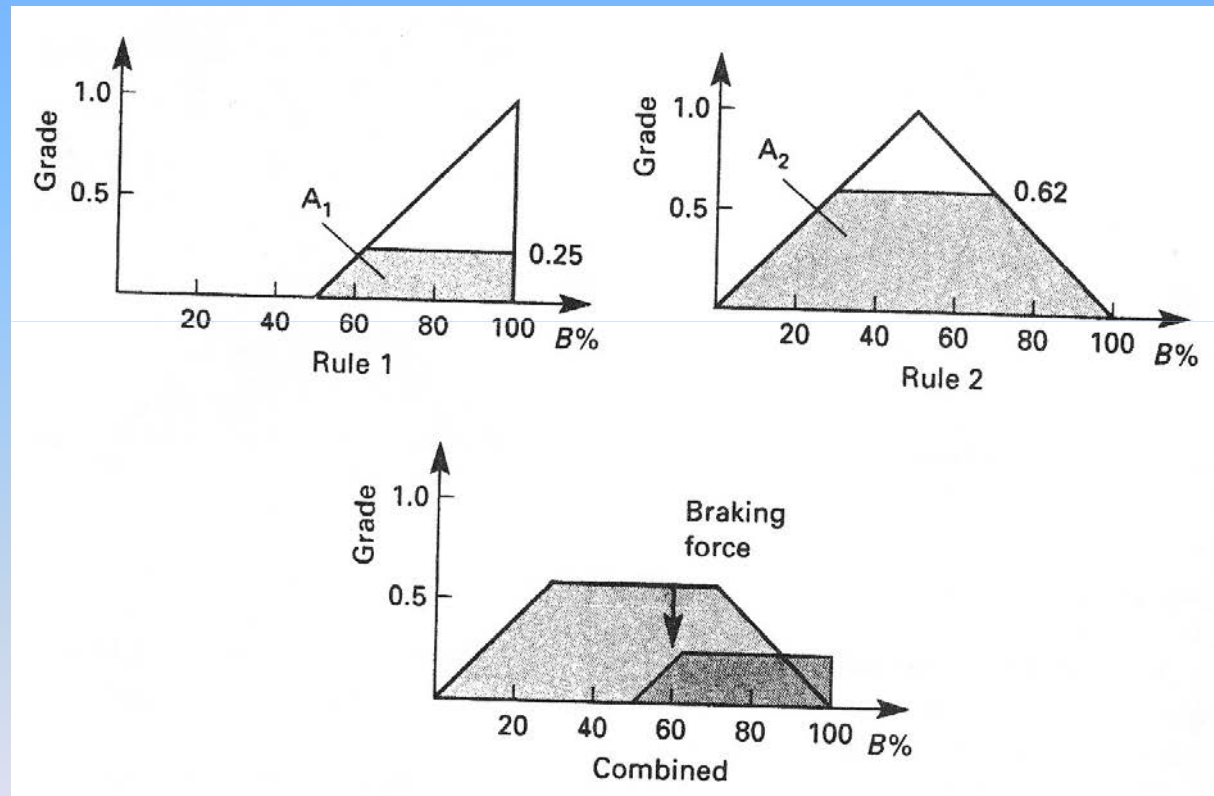
Slika 268. Pravilo I: if $D = PS$ and $V = PM$ then $B = PL$ for $V = 55$, $D = 27$



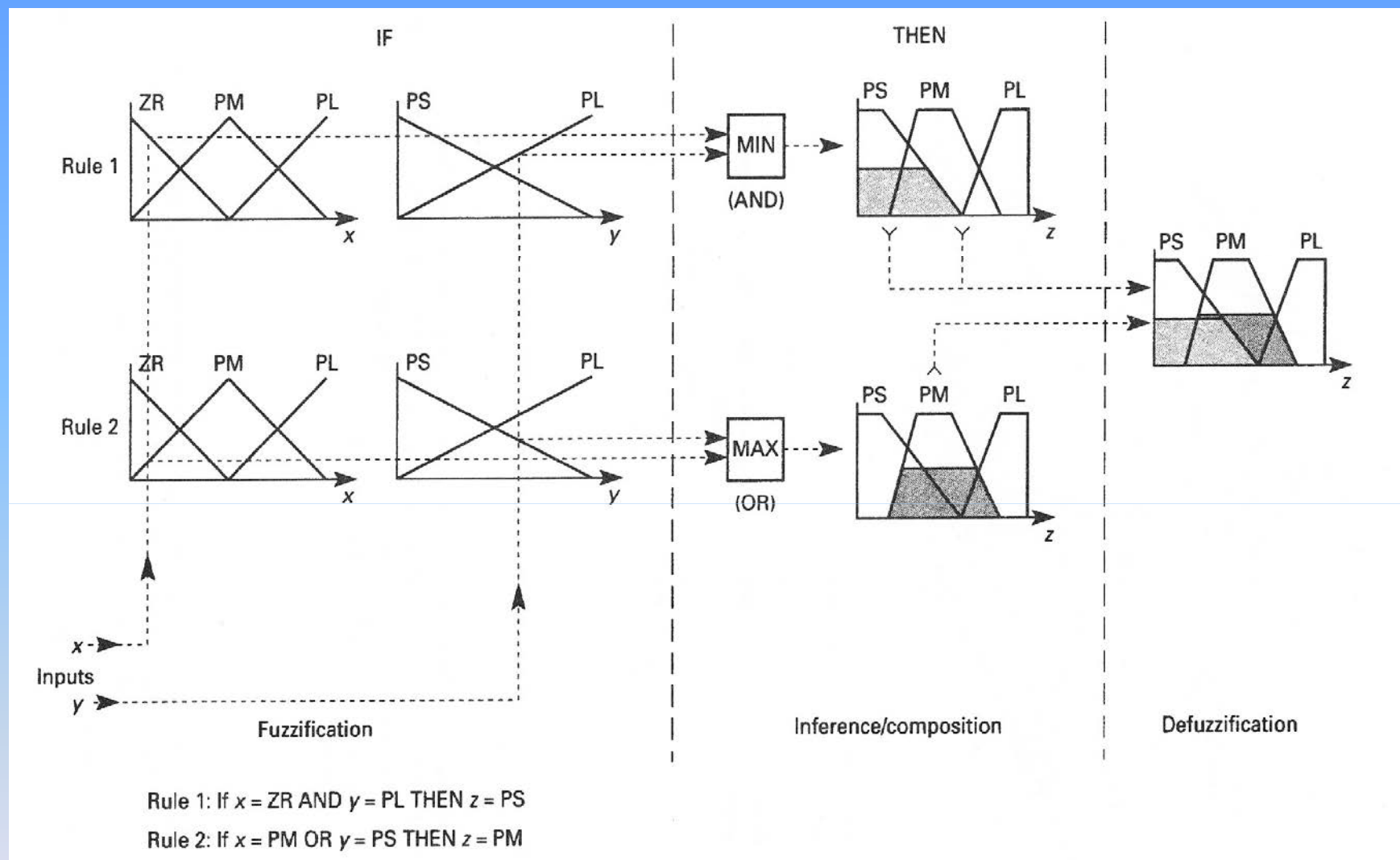
Slika 269. Pravilo II: if $D = PM$ and $V = PL$ then $B = PM$ for $V = 55$, $D = 27$

- Prema *pravilu II*, vjerojatnost da je $V = PL$ je 0.75, a vjerojatnost da je $D = PM$ je 0.62 kao što se vidi na slici 269.
- Sada postoje četiri vrijednosti za silu kočenja B ; 0.25 i 0.38 iz *pravila I* i 0.75 i 0.62 iz *pravila II*
- Slijedeći korak je da se ove četiri vrijednosti iz fuzzy logike spoje u jednu vrijednost koja će biti poslana na sustav kočnica
- Takav postupak spajanja u jednu izlazni vrijednost (izlazni signal) zove se DE-FUZZIFIKACIJA
- Prvo se postiže jedinstvena vrijednost sile kočenja za pojedino pravilo (za *pravilo I* i *II*)
- Jedinstvena vrijednost sile kočenja se postiže korištenjem logičkih prolaza AND i OR
- Bitno je napomenuti da se korištenjem logičkog prolaza AND uzima **niža** vrijednost kao jedinstvena vrijednost, a prolaza OR **viša** vrijednost kao jedinstvena vrijednost
- Ako pretpostavimo korištenje logičkog prolaza AND kod formiranja jedinstvene vrijednosti za oba pravila, tada je izlazni signal iz *pravila I* $B_1 = 0.25$, a iz *pravila II*, $B_2 = 0.62$

- Formiranje jedinstvenog izlaznog signala nastavlja se kombiniranjem površina A_1 i A_2 ispod vrijednosti izlaznih signala B_1 i B_2 (slika 270.)
- Vrijednost konačnog izlaznog signala na kočioni sustav je u središtu gravitacije kombiniranih površina A_1 i A_2

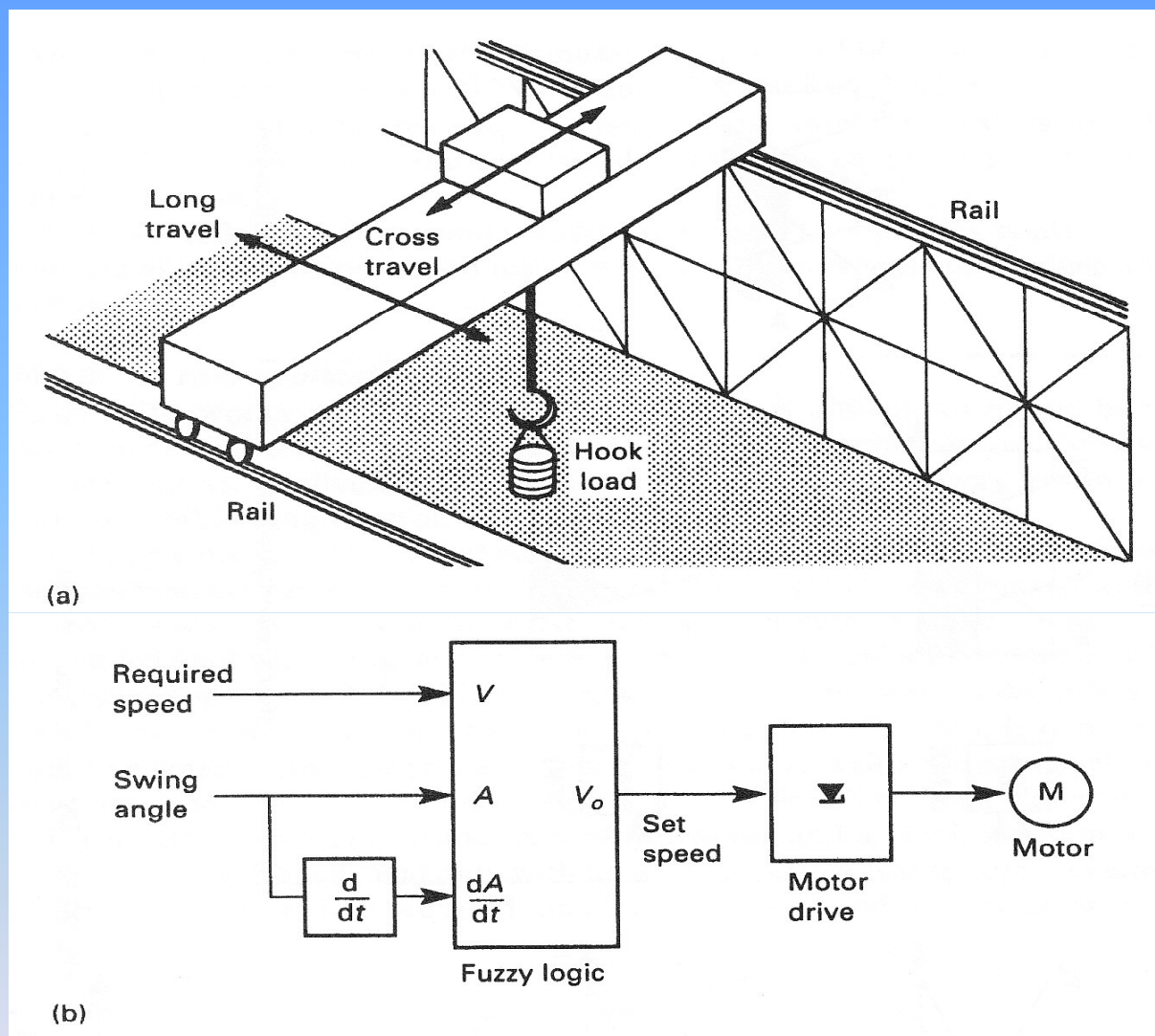


Slika 270. De-fuzzifikacija procesa



Slika 271. Potpuni prikaz procesa fuzzy logike

- Na slici 271. dat je prikaz potpunog procesa u fuzzy logici, koji djeluje kontinuirano, te koji obrađuje ulazne signale brzine vozila i udaljenosti vozila ispred i generira prikladni u sigurnu kočionu silu
- Fuzzy logika je vrlo pogodna za situacije gdje je teško predstaviti ljudski osjet ili odgovor s klasičnim sustavima analogne i digitalne regulacije
- Sljedeći primjer koristi sustav fuzzy logike da se smanji njihanje tereta ovješnog na kran konzolne dizalice
- Na slici 272. prikazan je kran konzolne dizalice i blok dijagram regulacijskog sustava
- Promatra se samo uzdužno gibanje (long travel) i poprečno gibanje (cross travel) tj. dvije osi gibanja u ovom slučaju
- Za svaku os su potrebna dva analogna ulazna signala (jedan za traženu brzinu **V**, a drugi za kut njihanja tereta **A**)
- Kut njihanja tereta **A** registrira se senzorom tj. rotacijskim potencijometrom koji se pokreće užetom na kojem visi teret

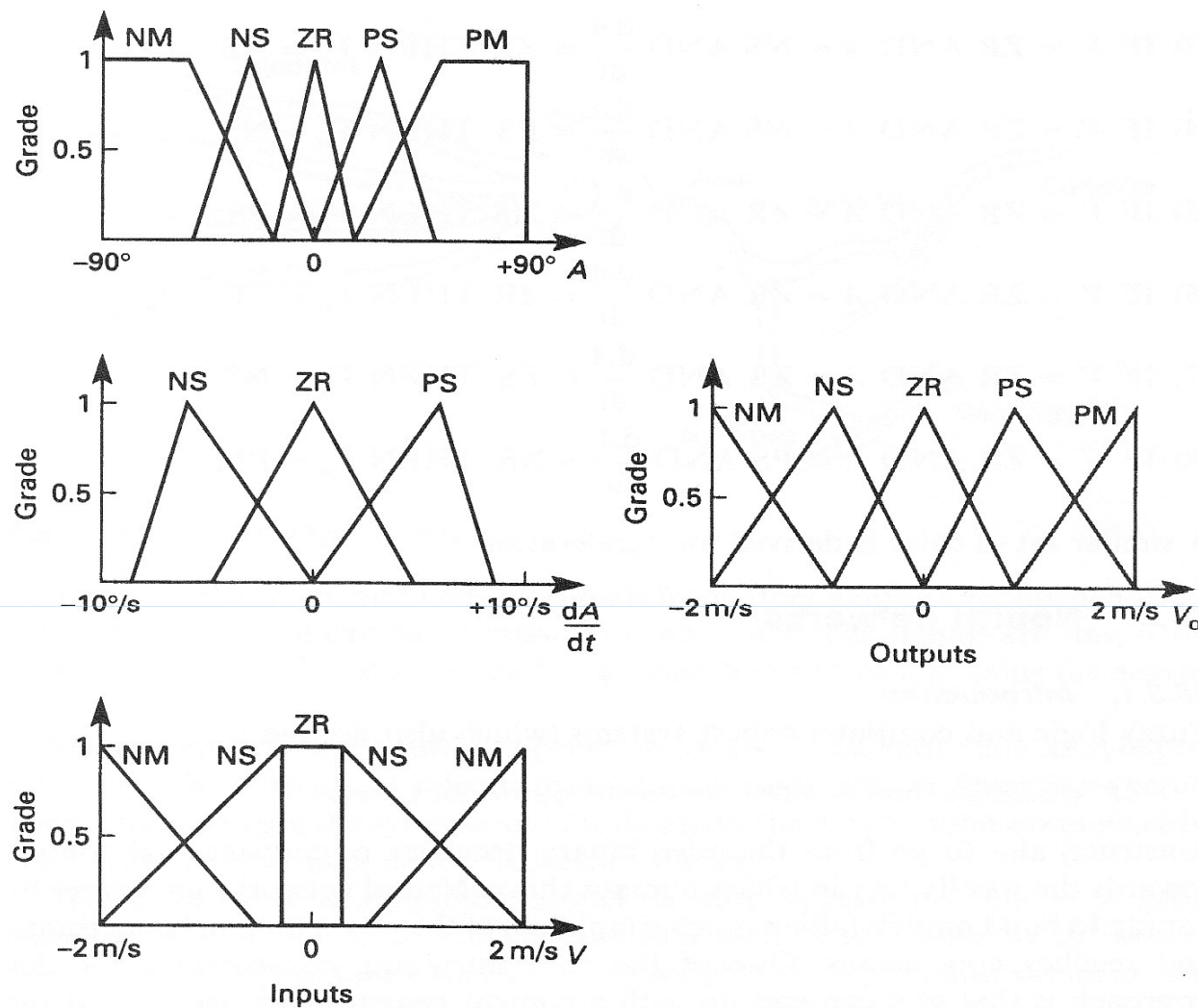


Slika 272. Regulacija dizalice pomoću fuzzy logike: a) konzolna dizalica, b) regulacijska shema za jedan pokret

- Treći analogni ulazni signal se derivira tj. dobiva se veličina promjene njihanja u vremenu dA/dt
- Ako se veličina promjene njihanja promatra u vremenskom intervalu T tada je:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{A_n - A_{n-1}}{T}$$

- Gdje je A_n trenutni kut njihanja, a A_{n-1} kut njihanja u trenutku T (koji se zbio prije trenutnog kuta njihanja)
- Također postoji i izlazni signal, a to je postavka brzine V_0 elektromotora koji pokreće dizalicu u uzdužnom gibanju
- Tri ulazna signala i jedan izlazni signal klasificirani su u grupe prema fuzzy logici kako je prikazano na slici 273.
- U ovom slučaju postojat će osam pravila za ponašanje fuzzy logike samo za uzdužno gibanje dizalice



Slika 273. Klasificirani signali za regulaciju krana dizalice

(1) IF $V = ZR$ AND $A = NM$ THEN $V_o = NM$

(2) IF $V = ZR$ AND $A = NS$ AND $\frac{dA}{dt} = NS$ THEN $V_o = ZR$

(3) IF $V = ZR$ AND $A = NS$ AND $\frac{dA}{dt} = ZR$ THEN $V_o = NS$

(4) IF $V = ZR$ AND $A = NS$ AND $\frac{dA}{dt} = PS$ THEN $V_o = NS$

(5) IF $V = ZR$ AND $A = ZR$ AND $\frac{dA}{dt} = NS$ THEN $V_o = PS$

(6) IF $V = ZR$ AND $A = ZR$ AND $\frac{dA}{dt} = ZR$ THEN $V_o = ZR$

(7) IF $V = ZR$ AND $A = ZR$ AND $\frac{dA}{dt} = PS$ THEN $V_o = NS$

(8) IF $V = ZR$ AND $A = PS$ AND $\frac{dA}{dt} = NS$ THEN $V_o = PM$