Bevezetés a lágy számítás módszereibe

Fuzzy logika alapjai

Bevezetés

$homokkupac - 1\ \ homokszem = homokkupac$???
$homokkupac = 0$

Homokkupac nincs pontosan definiálva!
Definíció: A homokkupac definíciója legyen az, hogy a homokszem halmaz elemszáma legalább 4 és az elrendezés legyen tetraéderszerű.
Vannak homokszem együttesek, melyeket mindenki minden körülmények között homokkupacnak tekint.
Vannak olyanok, amelyeket soha senki.

A kettő között vannak a félig meddig homokkupacok
$\Rightarrow$ vannak helyzetek, amikor "ez egy homokkupac" állítás nem nevezhető igaznak, de ugyanakkor hamisnak sem

*A részben igaz állításokat is megengedő logika a **fuzzy logika**.*

Fuzzy fogalom, fuzzy logika, fuzzy halmaz

- A számítástechnikában mindennek az alapja a bit, azaz az igen-nem információ.
- Mivel mindent ezzel írunk le, minden igaz vagy hamis.
- A természetben viszont majdnem minden olyan, hogy nem sorolható határozottan két ilyen csoport egyikébe sem, ezért a valóságos jelenségek leírásához másféle eszközökre van szükség.
- A mindennapi életben szerepel megfogalmazásainkban a többé-kevésbé, az általában, az esetleg, a talán stb.
- A fuzzy fogalom ezt a sokszínűséget hozza be a halmazelméletbe.
- Laza halmazelmélet esetén nemcsak ezt a két értéket vehetjük, hanem tetszőleges valós számot a [0,1] intervallumból, így például a talán válasznak megfeleltethetjük a 0,2 értéket.
- Az, hogy valamely elem egy adott halmazba esik-e vagy sem, már egy logikai állítás, itt kapcsolódik össze a logika és a halmazelmélet.

Boole féle logika

- implikáció ($\rightarrow$): A implikálja B-t, azaz ha A igaz, akkor B is igaz ($\overline{A} \vee B$)
- A 3 legelterjedtebb következtetési szabály:
  - Modus ponens:
    $$\frac{\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ A \end{array}}{B}$$
  - Modus tollens:
    $$\frac{\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ \overline{B} \end{array}}{\overline{A}}$$
  - Hipotetikus szillogizmus:
    $$\frac{\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ B \rightarrow C \end{array}}{A \rightarrow C}$$
- A *ha* *akkor* típusú szabályok interpretálhatók úgy, mint implikációk: $ha \quad x = A \quad akkor \quad y = B$ röviden: $A(x) \rightarrow B(y)$

Légkondicionáló működése

- Egy szabály: Egy légkondicionáló 22 fokos levegőt fúj ki, ha a levegő hőmérséklete meghaladja a 25 fokot.
- Itt x a szoba hőmérséklete, y a légkondicionáló által kifújt levegő hőmérséklete.
- **A**: a 25 foknál magasabb hőmérsékleti tartományt jelölő szimbólum
- **B**: a kifújt levegő 22 fokos hőmérsékletét jelöli
- Hasonló szabályokból felépíthető egy olyan rendszer, amely a légkondicionáló működését irányítja.
- Módosítsuk a B jelentését: $22 - 23$ fok közötti hőmérséklet
- pontosabb irányítás $\Leftarrow$ több tartomány
- **halmazértékű függvény**

Légkondicionáló működése

- Egy légkondicionáló modell kisebb szabályszámmal megvalósítható.
- Legyen pl. ***B1*** jelentése: 23-26 fokos levegő, ***B2*** jelentése: nincs fújás, ***B3*** jelentése: 20-23 fokos a levegő, ***A*** a szobában mért hőmérsékletet jelenti, amelyet szintén feloszthatunk.
- A teljes modell szabálybázisa legyen:

$$\textit{Ha } x=A_i \textit{ akkor } y=B_i \quad i=1,2,3$$

Felosztás: hűvös, kellemes, meleg az ***A*** esetében

hűvös, semmi, meleg a ***B*** esetében

Az új fuzzy modellnél elegendő 3 szabályt használni:

1. Ha x=hűvös akkor y=meleg
2. Ha x=kellemes akkor y=semmi
3. Ha x=meleg akkor y=hűvös

~~ha x=20 akkor y=26~~

~~ha x=21 akkor y=25~~

~~…~~

Felhasználási területek

Lotfi Zadeh: 1973 tanulmánya

- ipari alkalmazások (Mandani)
- képfeldolgozási alkalmazások (Zadeh)
- beszédfelismerés (Mori)
- fuzzy irányítású nyomvonal Sendai városában (1984)
- Sony, Hitachi, Panasonic (1987 után): háztartási gépek
- 1989 után
  - pénzügyi előrejelzések
  - együttműködő és kommunikáló robotegyüttesek
  - autómatikus adaptív sebességváltó (Volkswagen)
- napjainkban:
  - további irányítási rendszerek
  - adatbányászat

Alapfogalmak

Hagyományos halmazelmélet

- **alaphalmaz**, amely az adott kontextusban a lehetséges összes elemet tartalmazza (X)
- **üreshalmaz**: $\emptyset$
- **részhalmaz**: Ha az A halmaz minden eleme B halmaznak is eleme. $A \subseteq B$
- **hatványhalmaz**: Egy A halmaz összes részhalmazának halmazát $\rho(A)$-t, az A hatványhalmazának nevezzük.
- **számosság**: $|A|$ az A halmaz elemeinek a száma.
  Ha A véges, akkor $|\rho(A)| = 2^{|A|}$
- **komplemens**: $\overline{A}$ az alaphalmaz A-ban nem szereplő elemeit tartalmazza.

Alapfogalmak

Hagyományos halmazelmélet

- **egyesítés**: $A \cup B = \{x | x \in A \quad \text{vagy} \quad x \in B\}$
- **metszet**: $A \cap B = \{x | x \in A \quad \text{és} \quad x \in B\}$
- **diszjunkt halmazok**: Ha az A és B halmazoknak nincs közös elemük. $A \cap B = \emptyset$
- **partíció**: Valamely A halmaz páronként diszjunkt, nem üres részhalmazainak családját az A egy partíciójának hívjuk, amennyiben ezen részhalmazok uniója A-val egyenlő: $\Pi(A) = \{A_i | i \in I, A_i \subset A, A_i \neq \emptyset, \quad \text{és} \quad \forall i, j \in I, i \neq j : A_i \cap A_j = \emptyset\}$
- **Descartes-szorzat**: $A \times B$ olyan rendezett párokat tartalmazó halmaz, ahol az első elem az A a második a B halmaznak eleme, azaz $A \times B = \{\langle a, b\rangle | a \in A, b \in B\}$.

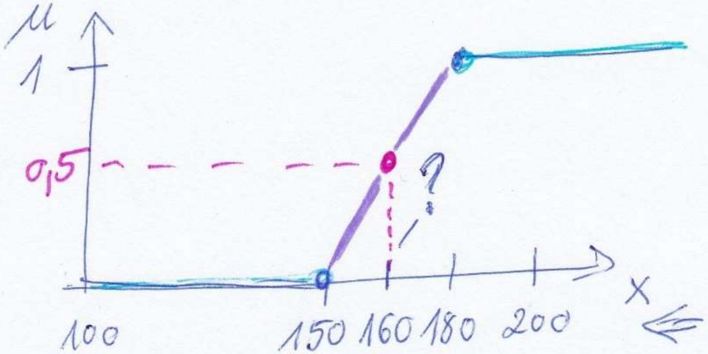
Fuzzy halmaz

- Definíció: Az $\boldsymbol{A}$ halmaz fuzzy halmaz, ha $\boldsymbol{x \epsilon A}$ kérdésre nem tudunk igennel vagy nemmel válaszolni, hanem egy ún. membership (tagsági) függvénnyel adjuk meg, hogy mennyire vagyunk bizonyosak az állításban ($\boldsymbol{X}$ alaphalmaz, $\boldsymbol{x \epsilon X}$).
- A membership függvény:

  $$\boldsymbol{\mu_A : x \rightarrow [0, 1]}$$

  az $\boldsymbol{A}$ halmazhoz tartozás mértékét adja meg.
- Ez kibővítése a klasszikus halmazfogalomnak, ahol az eleme kérdésre kétféle válasz adható: igen, nem.
- A fuzzy halmazelmélet általánosítása szerint $\boldsymbol{\mu_A}$ -nak tetszőleges értékei lehetnek a [0,1] intervallumban.

Fuzzy halmaz fogalma



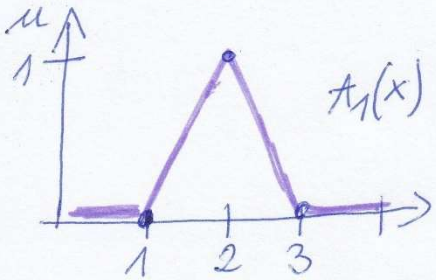
„magas emberek halmaza" = A

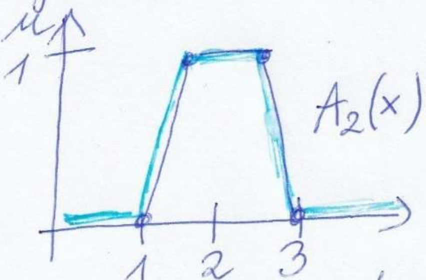
X ⇐ Alaphalmaz

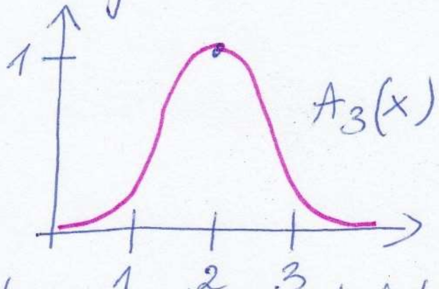
$$\mu_A : X \to [0,1] \equiv (A : X \to [0,1])$$

A reprezentáció <u>kontextus függő</u>. Lényegesen különböző fuzzy halmazokkal írható le pl. a $\boxed{\text{magas}}$ fogalom, ha az emberek vagy épületek alaphalmazán értelmezzük.

Pl: a következő fuzzy halmazok mindegyike a „körülbelül 2" fogalmat reprezentálja







Az alkalmazások a fuzzy halmazok alakjára általában nem túl érzékenyek.

Fuzzy logika

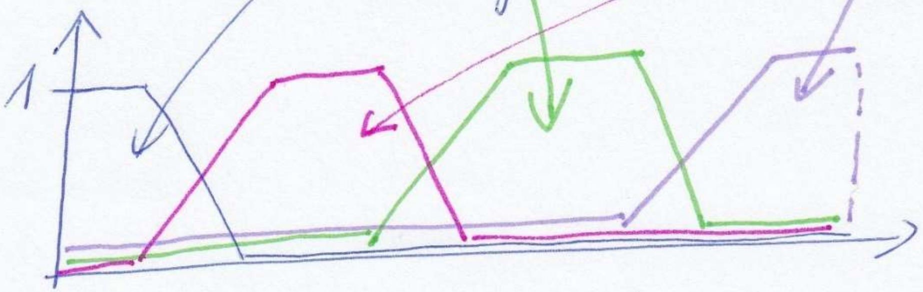
- A fuzzy logika a fuzzy halmazokra megfogalmazott állításokkal foglalkozik és a halmazhoz tartozást a hozzátartozás fokával jellemez.
- A fuzzy logika állításainak megfogalmazásához **nyelvi változó**kat (vagy fuzzy változókat) használ.

  pl.: magasság: alacsony, középmagas, magas
  testsúly: könnyű, átlagos, súlyos
  minőség: gyenge, jó, kiváló

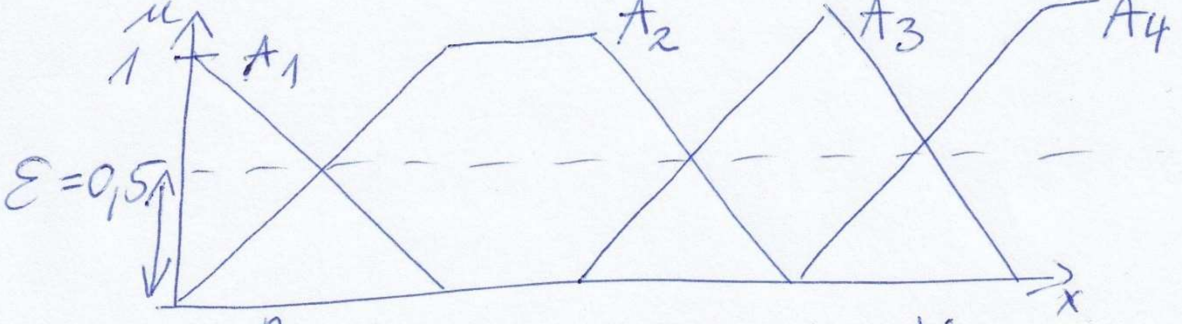
- A nyelvi változókkal különböző **állítások fogalmazhatók** meg, melyek akárcsak a matematikai logikában, különböző **művelete**kkel kapcsolhatók össze.

Nyelvi változó: sebesség

értékei: nagyon lassú, lassú, átlagos, nagyon gyors



Ruspini-partíció:



$$\sum_{i=1}^{n} A_i(x) = 1 \qquad \forall x \in X$$

Műveletek fuzzy halmazokkal

Zadeh-féle fuzzy halmazműveletek

- **komplemens**: Az X alaphalmazon értelmezett $A \in F(x)$ fuzzy halmaz Zadeh-féle komplemense $\overline{A}$, melyet $\overline{A}(x) = 1 - A(x)$ határoz meg
- **metszet**: $A, B \in F(x)$ két fuzzy halmaz
  $(A \cap B)(x) = min[A(x), B(x)], \quad \forall x \in X - re$ **t-norma**
- **unió**: $A, B \in F(x)$ két fuzzy halmaz
  $(A \cup B)(x) = max[A(x), B(x)], \quad \forall x \in X - re$ **t-konorma**

- Használt jelölés még: $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$
  $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$
  $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$

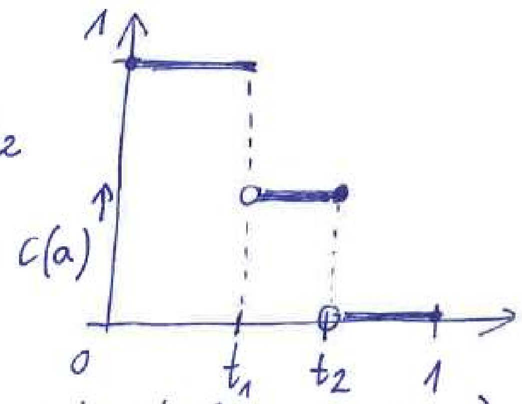
Alapvető fontosságú műveletcsaládok Fuzzy komplemensek

Legyen A az X fuzzy halmaza.
Az A halmaz c típusú komplemensét (cA)-val jelölve, $c(A(x))$ az az érték, amilyen mértékben x nem tartozik A-hoz.
definíció: *Fuzzy komplemens*nek nevezzük a $c : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ függvényt, amely minden $A(x)$ tagsági függvényértékhez tetszőleges A fuzzy halmaz esetén a $c(A(x))$ értéket rendeli hozzá olyan módon, hogy teljesüljön a fuzzy komplemens axiómatikus váza.

- **c1 axióma**: $c(0) = 1$ és $c(1) = 0$ (peremfeltételek)
- **c2 axióma**: Minden $a, b \in [0, 1]$ esetén, ha $a \leq b$, akkor $c(a) \geq c(b)$ (monotonítás)
- **c3 axióma**: c folytonos függvény
- **c4 axióma**: c involutív, azaz minden $a \in [0, 1]$-re $c(c(a)) = a$

Függvények vizsgálata a fuzzy komplemenshez

$$c(a) = \begin{cases} 1, & ha \quad a \le t_1 \\ 1/2, & ha \quad t_1 < a \le t_2 \\ 0, & ha \quad a > t_2 \end{cases}$$

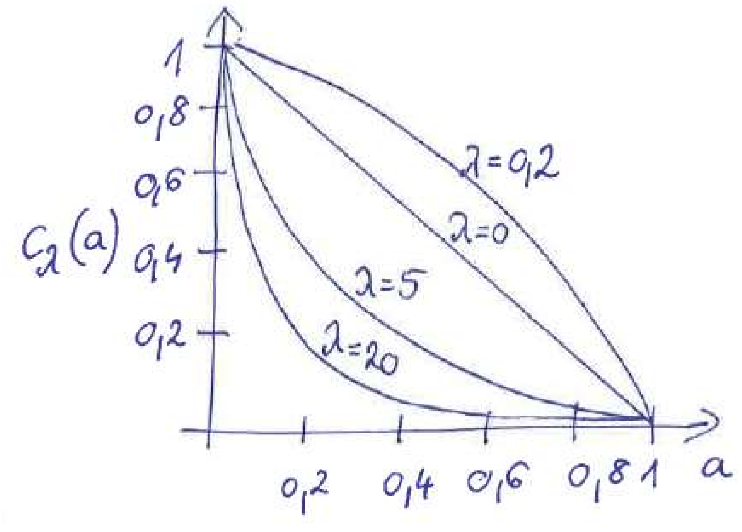


Csak az első 2 axiómát elégíti ki.

Folytonos, de nem involutív a $c(a) = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos \pi \cdot a)$ fg. amit könnyen ellenőrizhetünk

pl: $c(0,333) = 0,75 \qquad c(0,75) \approx 0,15 \neq 0,33$

Involutív függvény: $c_\lambda(a) = \dfrac{1-a}{1+\lambda a}$, ahol $\lambda \in (-1, \infty)$



a λ paraméter minden egyes értéke különböző involutív fuzzy komplemenseket definiál

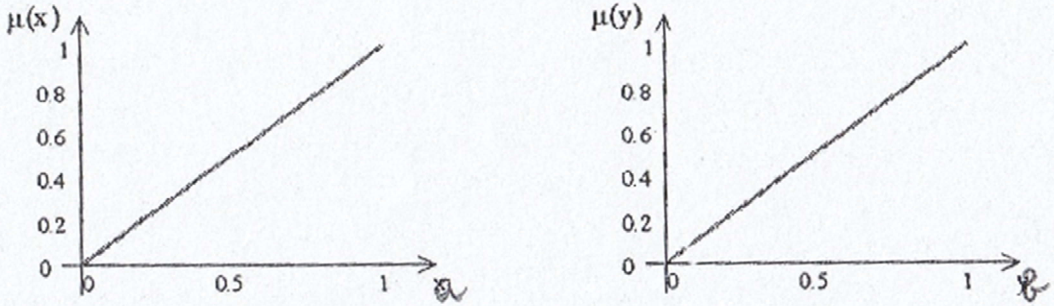
Sugeno-komplemensek

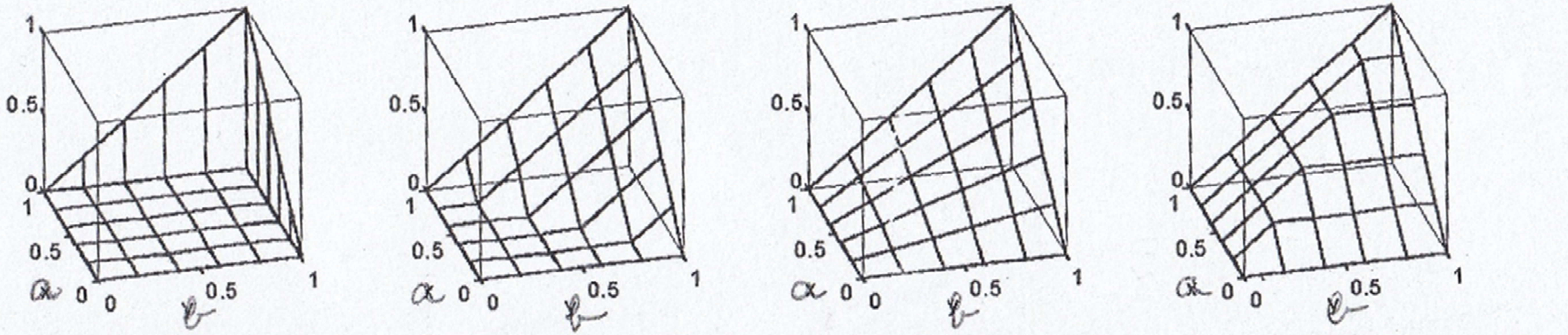
Fuzzy metszetek (t-normák)

Általánosan az A és B fuzzy halmazok metszetét az egységnégyzeten való bináris operátorként adhatjuk meg:
$t : [0,1] \times [0,1] \to [0,1]$
A fuzzy metszet minimálisan elvárt tulajdonságai:

- **t1 axióma**: $t(a,1) = a \quad \forall a \in [0,1]$-re (peremfeltétel)
- **t2 axióma**: $b \leq c$ -ből következik, hogy $t(a,b) \leq t(a,c)$ $\forall a,b,c \in [0,1]$-re (monotonítás)
- **t3 axióma**: $t(a,b) = t(b,a) \ \ \forall a,b \in [0,1]$-re (kommutativitás)
- **t4 axióma**: $t(a,t(b,c)) = t(t(a,b),c) \quad \forall a,b,c \in [0,1]$-re (asszociativitás)
- **t5 axióma**: t folytonos függvény
- **t6a axióma**: $t(a,a) < a$ (szubidempotencia) vagy
- **t6b axióma**: $t(a,a) = a$ (idempotencia)
- **t7 axióma**: Ha $a_1 < a_2$ és $b_1 < b_2$, akkor $t(a_1,b_1) < t(a_2,b_2)$ (szigorú monotonítás)

Leggyakrabban használt t-normák





a \ b	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
1	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
0.8	0	0	0	0	0	0.8
0.6	0	0	0	0	0	0.6
0.4	0	0	0	0	0	0.4
0.2	0	0	0	0	0	0.2
0	0	0	0	0	0	0

dra_t

Drasztikus metszet

$t_{min}(a,b) = \begin{cases} a, & \text{ha } b=1 \\ b, & \text{ha } a=1 \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases}$

a \ b	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
1	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
0.8	0	0	0.2	0.4	0.6	0.8
0.6	0	0	0	0.2	0.4	0.6
0.4	0	0	0	0	0.2	0.4
0.2	0	0	0	0	0	0.2
0	0	0	0	0	0	0

$korl_t$

Korlátos különbség

$t(a,b) = \max(0, a+b-1)$

a \ b	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
1	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
0.8	0	0.16	0.32	0.48	0.64	0.8
0.6	0	0.12	0.24	0.36	0.48	0.6
0.4	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4
0.2	0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.2
0	0	0	0	0	0	0

alg_t

algebrai szorzat

$t(a,b) = a \cdot b$

a \ b	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
1	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
0.8	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.8
0.6	0	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6
0.4	0	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4
0.2	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0	0	0	0	0	0	0

min

Zadeh-féle

$t(a,b) = \min(a,b)$

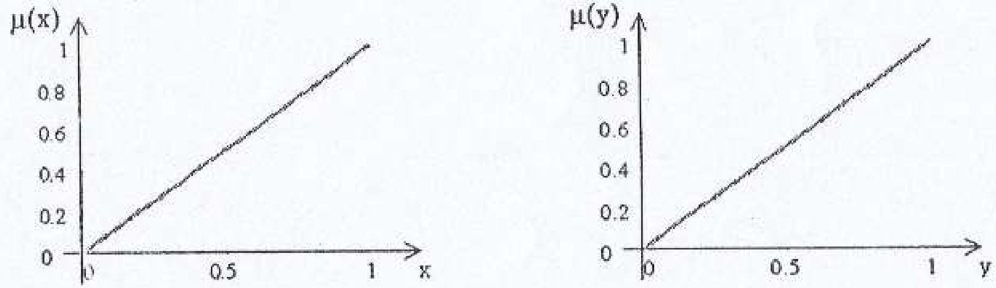
Fuzzy uniók (t-konormák) s-normák

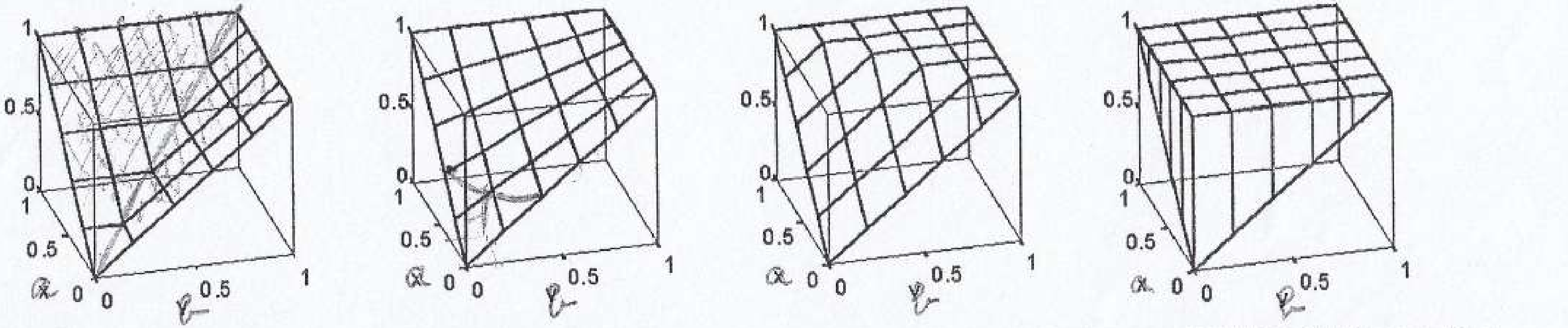
Általánosan az A és B fuzzy halmazok unióját az egységnégyzeten való bináris operátorként adhatjuk meg: $s : [0,1] \times [0,1] \to [0,1]$

A fuzzy unió minimálisan elvárt tulajdonságai:

- **s1 axióma**: $s(a,0) = a \quad \forall a \in [0,1]$-re (peremfeltétel)
- **s2 axióma**: $b \leq c$-ből következik, hogy $s(a,b) \leq s(a,c)$ $\forall a,b,c \in [0,1]$-re (monotonítás)
- **s3 axióma**: $s(a,b) = s(b,a)$ $\forall a,b \in [0,1]$-re (kommutativitás)
- **s4 axióma**: $s(a,s(b,c)) = s(s(a,b),c)$ $\forall a,b,c \in [0,1]$-re (asszociativitás)
- **s5 axióma**: s folytonos függvény
- **s6a axióma**: $s(a,a) > a$ (szuperidempotencia) vagy
- **s6b axióma**: $s(a,a) = a$ (idempotencia)
- **s7 axióma**: Ha $a_1 < a_2$ és $b_1 < b_2$, akkor $s(a_1,b_1) < s(a_2,b_2)$ (szigorú monotonítás)

Leggyakrabban használt s-normák





x ↑ (a) \ → y (b)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
1	1	1	1	1	1	1
0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1
0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	1
0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.8	1
0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	0.8	1
0	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1

max

...adeh-féle

$s(a,b) = max(a,b)$

x ↑ (a) \ → y (b)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
1	1	1	1	1	1	1
0.8	0.8	0.84	0.88	0.92	0.96	1
0.6	0.6	0.68	0.76	0.84	0.92	1
0.4	0.4	0.52	0.64	0.76	0.88	1
0.2	0.2	0.36	0.52	0.68	0.84	1
0	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1

alg_s

Algebrai összeg

$s(a,b) = a+b-ab$

x ↑ (a) \ → y (b)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
1	1	1	1	1	1	1
0.8	0.8	1	1	1	1	1
0.6	0.6	0.8	1	1	1	1
0.4	0.4	0.6	0.8	1	1	1
0.2	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1
0	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1

$korl_s$

Korlátos összeg

$s(a,b) = min(1, a+b)$

x ↑ (a) \ → y (b)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
1	1	1	1	1	1	1
0.8	0.8	1	1	1	1	1
0.6	0.6	1	1	1	1	1
0.4	0.4	1	1	1	1	1
0.2	0.2	1	1	1	1	1
0	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1

dra_s

Drasztikus unió

$$s_{max}(a,b) = \begin{cases} a, & \text{ha } b=0 \\ b, & \text{ha } a=0 \\ 1, & \text{különben} \end{cases}$$

Aggregáció

- A fuzzy rendszerek lényegét adó fuzzy algoritmusok alapvetően **ha akkor** szabályokból és azok **aggregációjá**ból állnak
- A szabályok matematikailag **relációk**at alkotnak
- A következtetés relációk **kompozíciój**a alakjában jelenik meg
- A fuzzy algoritmusok fuzzy relációk nyelvi, lingvisztikai álruhában
- A relációk **több a többhöz leképezést** valósítanak meg

Az aggregációs operátorok több fuzzy halmaz megfelelő módon történő egyesítése által egyetlen fuzzy halmazt állítanak elő.

Aggregációs operátorok

definíció: A $h : [0,1]^n \to [0,1]$ függvényt $(n \geq 2)$ fuzzy halmazokon értelmezett aggregációs operátornak nevezzük. Ha a h függvény argumentumai az X alaphalmazon értelmezett $A_1(x), \ldots, A_n(x)$ fuzzy halmazok, akkor h $\forall x \in X$-re fuzzy halmazt állít elő az argumentumok tagsági értékeinek segítségével, azaz $A(x) = h(A_1(x), \ldots A_n(x))$.
A fuzzy aggregáció elvárt tulajdonságai:

- **h1 axióma**: $h(0, \ldots, 0) = 0$ és $h(1, \ldots, 1) = 1$-re (peremfeltételek)
- **h2 axióma**: Ha adott két tetszőleges n-es $\langle a_1, \ldots, a_n \rangle$ és $\langle b_1, \ldots, b_n \rangle$, ahol $a_i, b_i \in [0,1]$ és $a_i \leq b_i \;\; \forall i \in [1, n]$, akkor $h(a_1, \ldots, a_n) \leq h(b_1, \ldots, b_n)$, azaz h monoton növekvő minden argumentumában.
- **h3 axióma**: h folytonos függvény

Fuzzy relációk

- Két (vagy több) halmazbeli elem vagy relációban van egymással, vagy nem
- Ezt a fogalmat általánosítja a fuzzy reláció fogalma
- Egy fuzzy relációhoz való tartozást tagsági értékkel lehet kifejezni
- Az $X_1, \ldots, X_n$ halmazok közötti R reláció: $R(X_1, \ldots, X_n) \subseteq X_1 \times \ldots \times X_n$
- Fuzzy esetben: $R(X_1, \ldots, X_n) = \mu_R \langle x_1, \ldots, x_n \rangle$ (ez a reláció tagsági függvényének értéke az adott argumentumra)
- relációk osztályozása: bináris, ternáris, n-áris

Egy másik reprezentációs módszer a számítógépes modellezésben jelentős: a véges elemszámú halmazok relációit rendezett n-esekként írjuk fel.

Példa relációra

Alaphalmazok: X={CH, D, B, F}; Y={frank, euro}; Z={német, francia, olasz, flamand}

Az *R* reláció kapcsolja össze az egyes országok autós felségjelzését, valutanemét és hivatalos nyelvét vagy nyelveit.

Ekkor R(X,Y,Z)= {<CH, frank, német>,<CH, frank, francia>,<CH, frank, olasz>, <B, euro, flamand>,<B, euro, francia>,<F, euro, francia>, <D, euro, német>} hármasok tartoznak a relációba, amit az alábbi két mátrix is szemléltet:

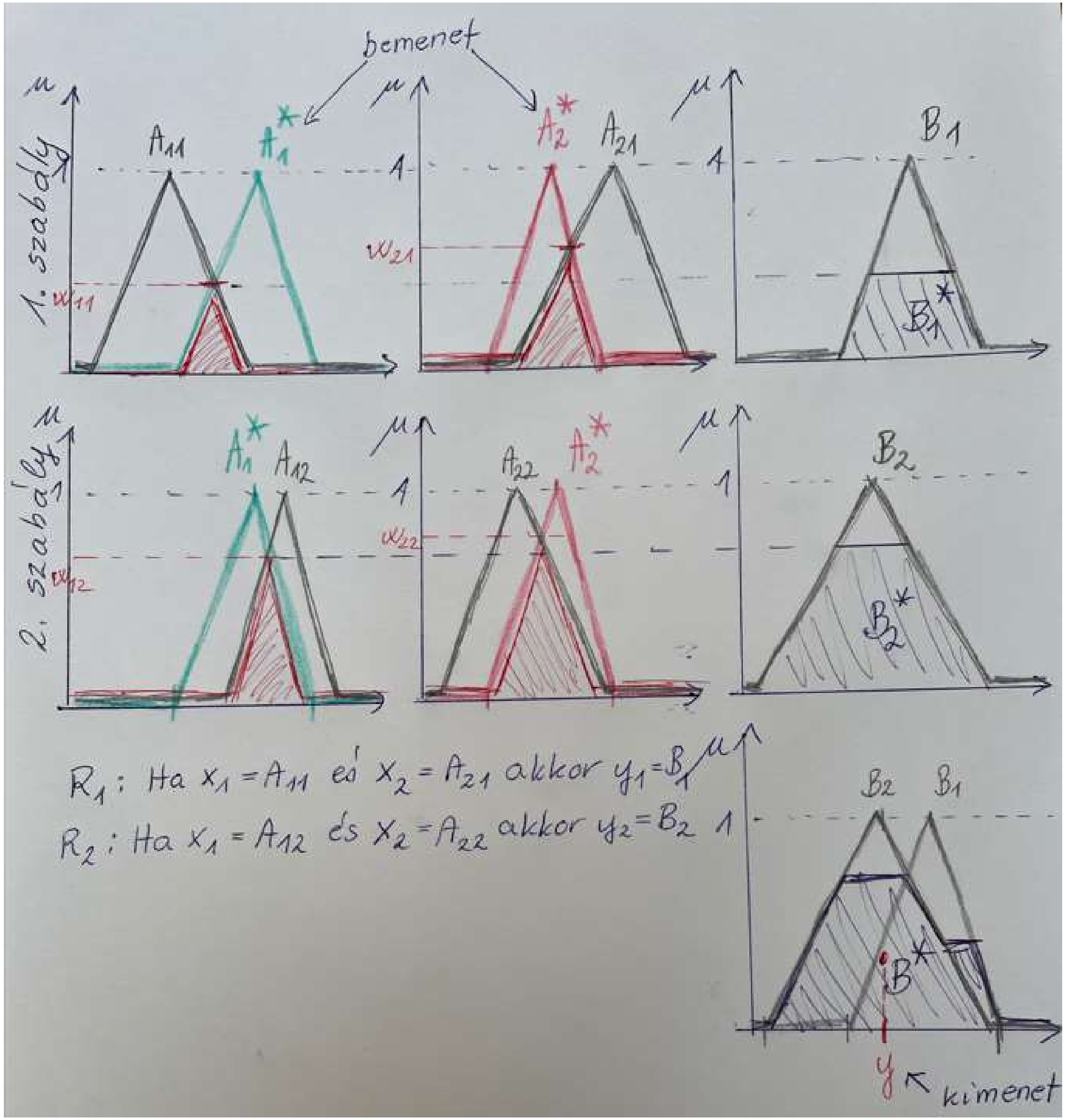
	CH	D	B	F
német	1	0	0	0
francia	1	0	0	0
olasz	1	0	0	0
flamand	0	0	0	0

frank

	CH	D	B	F
német	0	1	0	0
francia	0	0	1	1
olasz	0	0	0	0
flamand	0	0	1	0

euro

Mamdani-féle következtetés



Locsolórendszer

Feladat:

Egy virágoskert locsoló rendszerét két paraméter alapján tudjuk beállítani:

1. Virágföld nedvesség tartalma
2. Időjárás

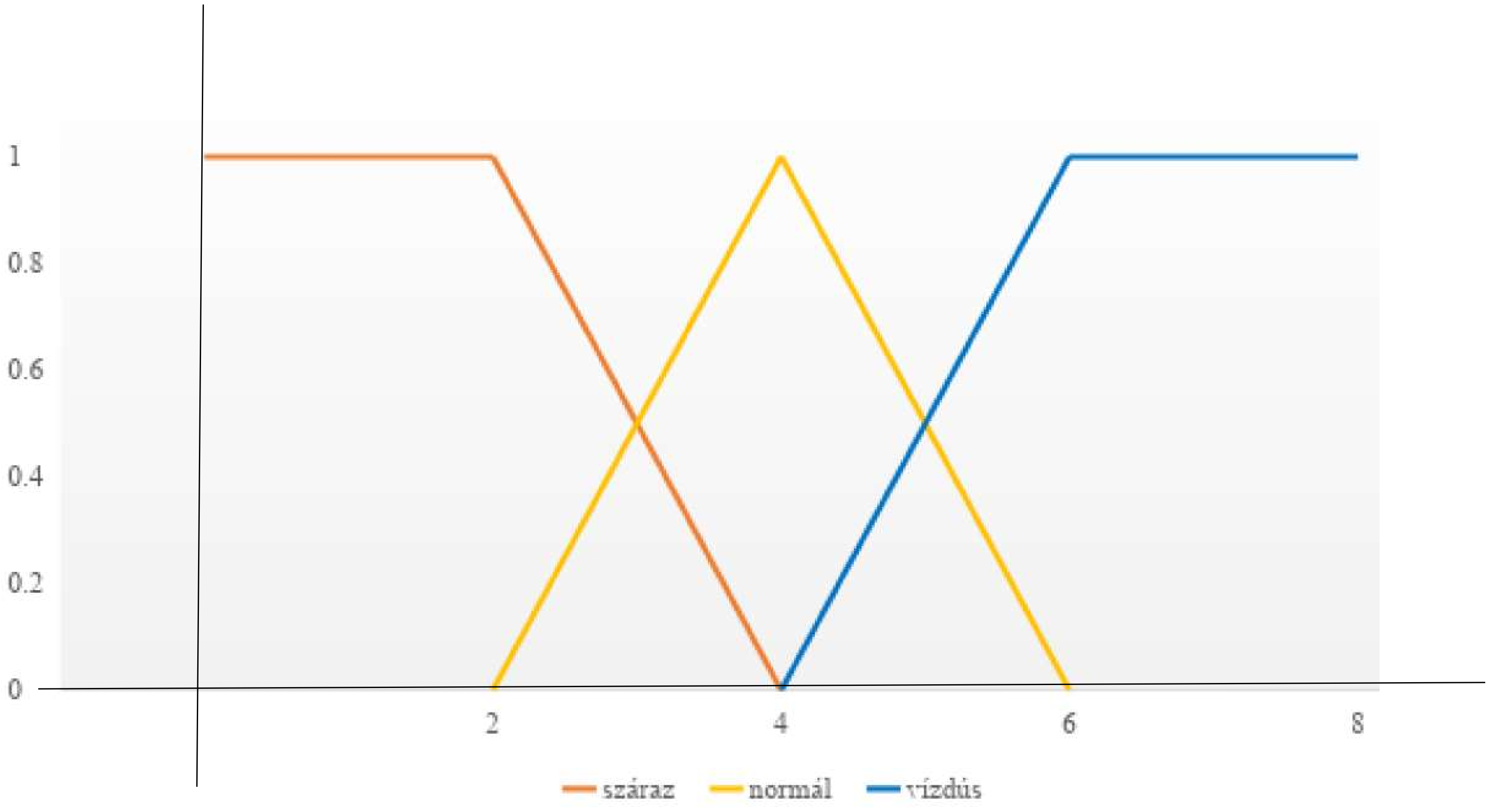
Mindkettő egy **0-tól 8-ig** terjedő skálán egy számértékkel jellemezhető.

Feladat készíteni egy olyan fuzzy következtető rendszert, amely e paraméterek alapján tanácsot ad, hogy a locsoló rendszer mennyi ideig locsoljon az adott napon. Ezt egy **0-tól 8-ig** terjedő skálán kapjuk meg.

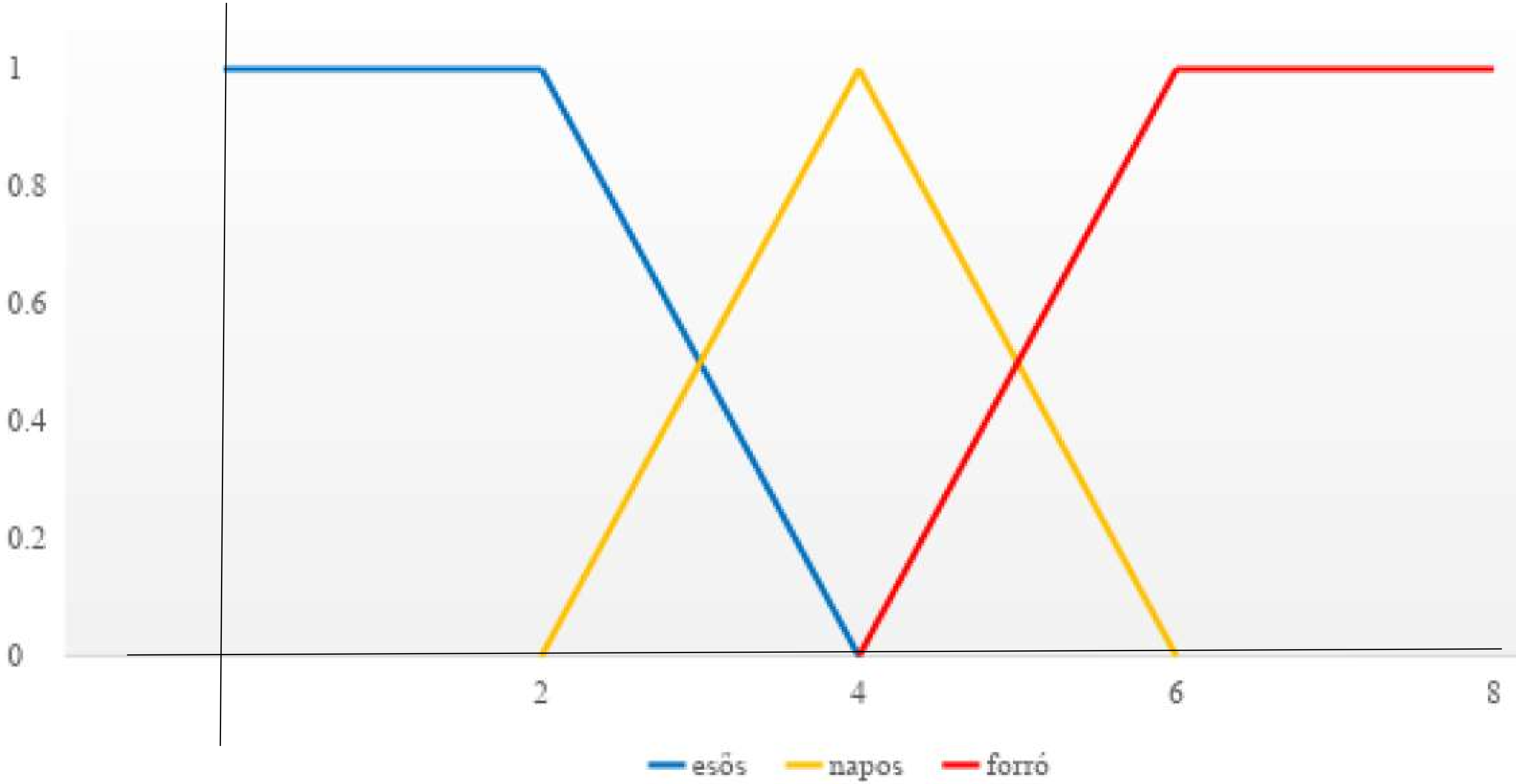
Használjuk az alábbi nyelvi változókat:

1. A virágföld nedvesség tartalma: száraz, normál, vízdús
2. Időjárás: esős, napos, forró
3. Locsolás időtartama: rövid, közepes, hosszú

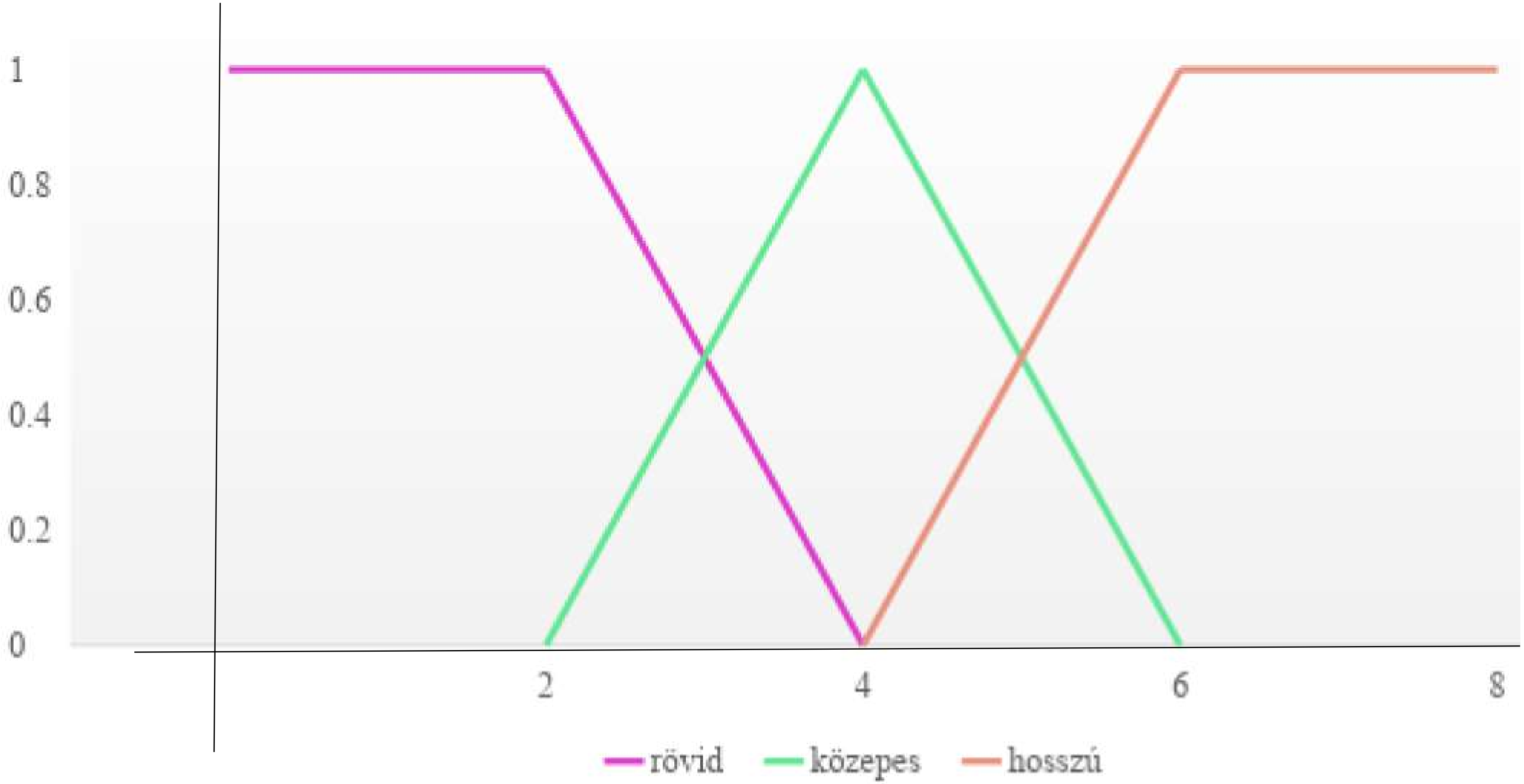
A föld nedvesség tartalma:



Időjárás



Locsolás időtartama



Döntéshozási szabályok:

1. **HA** (VIRÁGFÖLD SZÁRAZ *ÉS* IDŐJÁRÁS ESŐS) **AKKOR** (IDŐTARTAM KÖZEPES)
2. **HA** (VIRÁGFÖLD SZÁRAZ *ÉS* IDŐJÁRÁS NAPOS) **AKKOR** (IDŐTARTAM HOSSZÚ)
3. **HA** (VIRÁGFÖLD SZÁRAZ *ÉS* IDŐJÁRÁS FORRÓ) **AKKOR** (IDŐTARTAM HOSSZÚ)
4. **HA** (VIRÁGFÖLD NORMÁL *ÉS* IDŐJÁRÁS ESŐS) **AKKOR** (IDŐTARTAM RÖVID)
5. **HA** (VIRÁGFÖLD NORMÁL *ÉS* IDŐJÁRÁS NAPOS) **AKKOR** (IDŐTARTAM KÖZEPES)
6. **HA** (VIRÁGFÖLD NORMÁL *ÉS* IDŐJÁRÁS FORRÓ) **AKKOR** (IDŐTARTAM HOSSZÚ)
7. **HA** (VIRÁGFÖLD VÍZDÚS *ÉS* IDŐJÁRÁS ESŐS) **AKKOR** (IDŐTARTAM RÖVID)
8. **HA** (VIRÁGFÖLD VÍZDÚS *ÉS* IDŐJÁRÁS NAPOS) **AKKOR** (IDŐTARTAM RÖVID)
9. **HA** (VIRÁGFÖLD VÍZDÚS *ÉS* IDŐJÁRÁS FORRÓ) **AKKOR** (IDŐTARTAM KÖZEPES)

Időjárás	**ESŐS**	**NAPOS**	**FORRÓ**
Virágföld SZÁRAZ	Közepes	Hosszú	Hosszú
Virágföld NORMÁL	Rövid	Közepes	Hosszú
Virágföld VÍZDÚS	Rövid	Rövid	Közepes

A locsolás időtartamának kiszámítása, ha a bementi értékek:
virágföld nedvesség tartalma=3,5; időjárás=4,5

Ezek a szabályok aktivizálódnak a bementi értékekre:

2. **HA** (VIRÁGFÖLD SZÁRAZ *ÉS* IDŐJÁRÁS NAPOS) **AKKOR** (IDŐTARTAM HOSSZÚ)

3. **HA** (VIRÁGFÖLD SZÁRAZ *ÉS* IDŐJÁRÁS FORRÓ) **AKKOR** (IDŐTARTAM HOSSZÚ)

5. **HA** (VIRÁGFÖLD NORMÁL *ÉS* IDŐJÁRÁS NAPOS) **AKKOR** (IDŐTARTAM KÖZEPES)

6. **HA** (VIRÁGFÖLD NORMÁL *ÉS* IDŐJÁRÁS FORRÓ) **AKKOR** (IDŐTARTAM HOSSZÚ)

Meghatározandó: $\mu_{locsolás}(P) = min\left(\mu_{virágföld}(3{,}5); \mu_{időjárás}(4{,}5)\right)$

2. $\mu_{száraz}(3{,}5)$ =0,25 és $\mu_{napos}(4{,}5)$ =0,75 → $\mu_{hosszú}(P)$ =0,25

3. $\mu_{száraz}(3{,}5)$ =0,25 és $\mu_{forró}(4{,}5)$ =0,25 → $\mu_{hosszú}(P)$ =0,25

5. $\mu_{normal}(3{,}5)$ =0,75 és $\mu_{napos}(4{,}5)$ =0,75 → $\mu_{közepes}(P)$ =0,75

6. $\mu_{normal}(3{,}5)$ =0,75 és $\mu_{forró}(4{,}5)$ =0,25 → $\mu_{hosszú}(P)$ =0,25

$$\boldsymbol{Locsolás\ időtartama} = \frac{\mathbf{6{,}3*0{,}25+6{,}3*0{,}25+4{,}0*0{,}75+6{,}3*0{,}25}}{\mathbf{0{,}25+0{,}25+0{,}75+0{,}25}} = \mathbf{5{,}15}$$