

# Automatikus fékrendszer fuzzy vezérlése

## Fuzzy control for automatic braking system

Sarusi-Kiss József, Lukács Judit

Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar,  
Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet, Budapest, Magyarország  
sarusij24@gmail.com, lukacs.judit@bgk.uni-obuda.hu

**Összefoglalás** — Napjainkban a személygépjárművek egyre összetettebb biztonsági követelményeknek kell, hogy megfeleljenek. Ennek következményeként különleges műszaki-informatikai probléma a számos kiegészítő funkció együttes irányítása és összehangolása. Jelen tanulmány egy automatikus fékrendszer működtetésére alkalmas fuzzy vezérlő kialakítását mutatja be. Egy ilyen rendszer alapvetően arra szolgál, hogy időben megállítsa a járművet elkerülve az esetleges balesetet, továbbá csökkentse a már bekövetkezett baleset súlyosságát. A fuzzy következtetési rendszer a MatLab fuzzy toolbox környezetben készült. A következtetési rendszer két bemenettel (sebesség, távolság) és egy kimenettel rendelkezik (féksszükséglet), melyek leírása háromszög és trapéz alakú tagsági függvényekkel történt. A feladatmegoldás során a centroid defuzzifikációs technikát alkalmaztuk.

**Kulcsszavak:** fuzzy következtető rendszer, automatikus fékrendszer, közlekedésbiztonság, mérnöki alkalmazás

**Abstract** — Nowadays, passenger cars have to meet increasingly complex safety requirements. As a result, a special technical-IT problem is the joint control and coordination of many additional functions. This study describes the design of a fuzzy controller capable of operating an automatic brake system. Such a system is basically designed to stop the vehicle in time, avoiding a possible accident and to reduce the severity of an accident occurred. The fuzzy inference system was built in MatLab fuzzy toolbox environment. The inference system has two inputs (speed, distance) and one output (brake demand), which are described by triangular and trapezoid membership functions. Centroid defuzzification technique was used to solve the problem.

**Keywords:** Fuzzy inference system, automatic braking system, traffic safety, engineering application

### RÖVIDÍTÉSEK

ABS — Anti-lock Braking System, blokkolásgátló fékrendszer

ASR — Anti-Slip Regulation, kipörgésgátló, mint TCS

ESP — Electronic Stability Program, menetstabilizáló elektronika

FIS — Fuzzy Inference System, fuzzy következtető rendszer

MISO — Multi Input Single Output, több bemenetű és egy kimenettel rendelkező rendszer

TCS — Traction Control System, kipörgésgátló, mint ASR

### 1 BEVEZETÉS

A XIX. századi személygépjárművek esetén kulcskérdés a biztonság. Aktív biztonság kifejezéssel illetjük a közlekedési balesetek megelőzésében részt vevő kiegészítő rendszereket (ABS/ASR/TCS, ESP, fék-, tolatási-, sávtartási asszisztens, stb.). A passzív biztonság gondolatkörébe tartoznak a már elszenvedett baleset következményeit csökkentő eszközök, berendezések (biztonsági öv és övfeszítők, légzsákok, biztonsági üveg, segélyhívó, stb.). Mindkét csoport célja a közúti közlekedés biztonsági színvonalának növelése.

A vezetéstámogató rendszerekre tehát az emberi hibák okozta balesetek elkerülése miatt van szükség, az ilyen rendszerek érzékelők, kiértékelő rendszerek és beavatkozó egységekkel a veszélyes helyzeteket próbálják felismerhetővé és elkerülhetővé tenni. A fékasszisztens a városon belüli ráfutásos balesetek, kisebb ütközéseket előzi meg illetve a gyalogosok felismerésére is alkalmas. Az érzékelők a jármű előtti területet 3 irányban vizsgálják:

- előre,
- jobbra és
- balra.

A rendszert megfelelően kell optimalizálni, hogy feleslegesen fékezést ne hajtson végre, illetve szükség esetén állítsa meg az autót. A fékasszisztens természetesen nem minden esetben képes a veszélyhelyzet elhárítására, azonban az ütközés súlyosságát mindenképpen csökkenti. Továbbá érzékelők által szolgáltatott információ továbbítható a légzsákrendszer elektronikájához, mely szintén elősegíti a sérülések megelőzését és felkészülhet az esetleges balesetre [1].

A rendszer a bemenő paraméterek (jármű haladási sebessége, környező objektumoktól mért távolság) alapján megállapítja, hogy mekkora fékerő szükséges a jármű (autó, vonat, teherautó) biztonságos megállításához. A rendszer a bemenetek alapján figyelmezteti a sofőrt, ha pedig nem reagál, akkor emberi beavatkozás nélkül lassítja és/vagy akár meg is állítja a járművet. Intelligens fékrendszer használatával növelhető a közlekedésbiztonság, csökkenthető az emberi hibák, figyelmetlenség miatt bekövetkező balesetek száma [2].

Azonban a hagyományos (Boole) logika [3] alkalmatlan bizonyos jelenség leírására. Jelen esetben csak azt tudjuk meghatározni, hogy a jármű és egy objektum között van-e távolság vagy nincs. A „közel” és „távol” fogalmak logikai kezelése a részleges igazság bevezetésével, tehát lágszámítási módszerek alkalmazásával válik lehetővé [4].

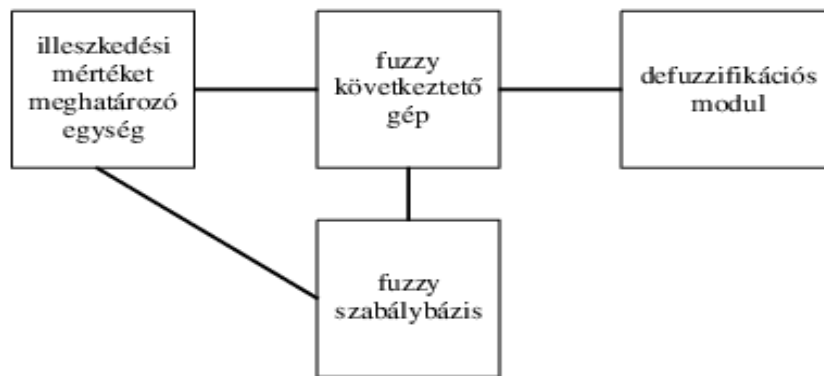
A fuzzy logika bevezetése Zadeh [5] nevéhez fűződik, kialakításakor az emberi gondolkodás matematikai leírása volt a cél, mely jobban leírható olyan fogalmakkal melyeknek nincsenek éles határaik.

A valóságban sok nagy bonyolultságú rendszerrel találkozunk, és modellezésükhöz szükség van egy pontatlanságot kezelni képes matematikai leírásra. A Boole-logikában a halmazhoz tartozás karakterisztikus függvényekkel egyértelműen megadható, míg a fuzzy logikában az alaphalmaz minden eleméhez valamely rögzített tartományból rendelünk értéket (az esetek nagy részében [0 1] intervallumból). Az érték nagysága megegyezik a halmazhoz tartozás mértékével. A fuzzy tagsági függvény előállítását a karakterisztikus függvény

általánosításával történik. A halmaz és a tagsági függvény egyenértékű.

A fuzzy logika matematikai eszközökkel kezeli az információhiányból, pontatlanságból és kétértelműségből származó bizonytalanságot [6].

Jelen tanulmány keretein belül egy fuzzy alapú modell kerül bemutatásra, mely az automatikus fékrendszer vezérlésére is alkalmas az adott közlekedési környezet követelményeinek figyelembe vételével. A fuzzy logika alkalmazásával már nem azt kell eldönteni, szükséges-e a fékasszisztens működtetése, hanem az akadály távolsága alapján definiálhatjuk a beavatkozás mértékének a mivoltát is.



1. ábra: Általános fuzzy irányítási rendszer vázlat [2]

## 2 FUZZY KÖVETKEZTETŐ RENDSZER

A vezérlés megvalósítása a fuzzy következtető rendszer megalkotásával történt, melynek általános felépítése az 1. ábrán látható.

A fuzzy következtető rendszer felállításához szükséges lépések a következők:

A fuzzifikálás az éles bemenetek fuzzy halmazokká alakítását, vagyis a tagsági függvények definiálását jelenti. Ez követi az illeszkedés mértékének vizsgálata, tehát a tüzelési szint meghatározása. Ennek eredménye, valamint a szabálybázisban megadott ismeretanyag alapján a következtető gépben kerül meghatározása a rendszer válasza fuzzy tagsági függvényként. A következtetés eredményeként keletkező fuzzy halmazt a bemenő adatok fuzzy halmaza és szabályait leíró fuzzy reláció kompozíciójaként állítja elő. Utolsó lépésként a defuzzifikálás során fuzzy változókat visszaalakítjuk könnyebben értelmezhető és feldolgozható konkrét, crisp értékké. Ez a Mamdani-féle következtetés.

Azonban meg kell jegyezni, hogy a fuzzifikáció, illetve defuzzifikáció NEM inverz műveletei egymásnak. Az illeszkedés mértékét meghatározó egység bemenete lehet fuzzy és nem fuzzy, a defuzzifikációs modul pedig minden esetben crisp (konkrét) értéket ad.

A fuzzy következtető rendszerek egy másik, igen elterjedt típusa, a Sugeno-féle rendszer az előbb bemutatott változattól mindössze abban különbözik, hogy a defuzzifikáció lépésére nincs szükség [6-9].

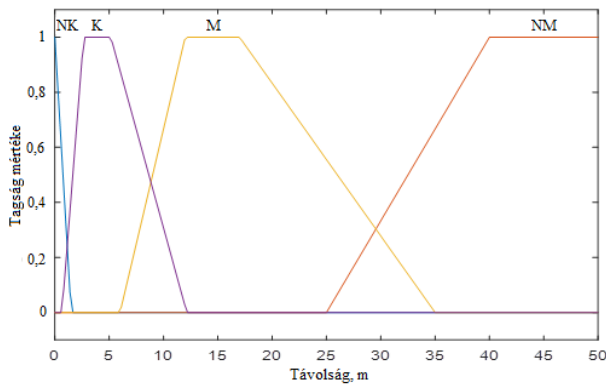
A bemutatásra kerülő rendszernek két bemenete és egy kimenete van (MISO rendszer), leírásukra trapéz, illetve háromszög alakú tagsági függvényeket használunk, ezek matematikai leírása látható az (1) egyenletben háromszög- és a (2) egyenletben trapéz alak esetén, ahol  $p_1, p_2, p_3$  és  $r$  a tagsági függvények paraméterei [7].

$$A_1 = \begin{cases} p_1(x - r) + 1, & \text{ha } x \in [r - (1/p_1), r], \\ p_1(r - x) + 1, & \text{ha } x \in [r, r + (1/p_1)], \\ 0, & \text{különben;} \end{cases} \quad (1)$$

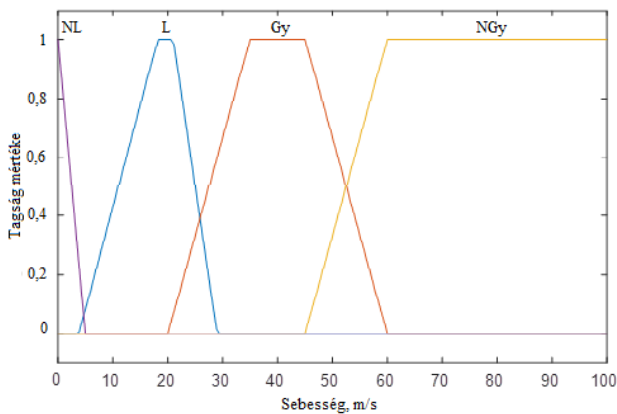
$$A_2 = \begin{cases} 1, & \text{ha } x \in [r - p_2, r + p_2], \\ p_3 ((x + p_2) - r) + 1, & \text{ha } x \in [r - (1/p_3) - p_2, r - p_2], \\ p_3 (r - (x - p_2)) + 1, & \text{ha } x \in [r + p_2, r + (1/p_3) + p_2], \\ 0, & \text{különben;} \end{cases} \quad (2)$$

### 2.1 Bemenő paraméterek

A rendszer bemenetei egy objektumtól való távolság és a jármű pillanatnyi haladási sebessége. A különböző tagsági értékeket a városi közlekedésre jellemző értékek és szakirodalmi ajánlás [10] alapján határoztuk meg.



2. ábra: Az objektumtól mért távolság tagsági függvényei



3. ábra: A sebesség tagsági függvényei

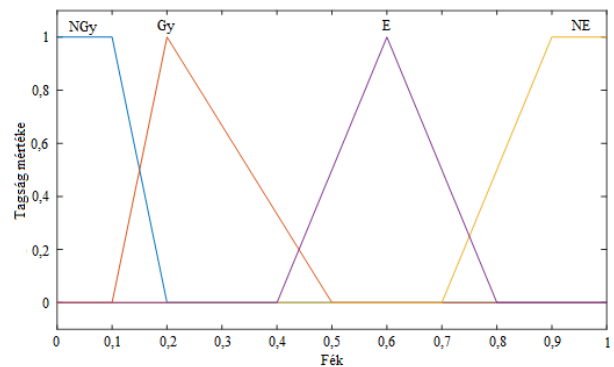
Az objektumtól mért távolság, mint első bemenet egy adott akadályig megtehető úthossz jelenti. A tanulmány keretein belül nincsenek különválasztva az álló, valamint az akár azonos, akár ellentétes irányba haladó „tereptárgyak”, ezek gyűjtőfogalma maga az objektum. A változó beállításait [0, 50] intervallumon adjuk meg, a mértékegysége: m. A tagsági függvények a 2. ábrán láthatóak, ezek elnevezései az alábbiak szerint alakulnak: nagyon közel (NK), közel (K), messze (M), nagyon messze (NM). A tagsági függvények közül valamennyi trapéz alakú.

A sebesség beállításait [0, 100] intervallumon adjuk meg, mértékegysége km/h.

A tagsági függvények háromszög, valamint trapéz alakúak (lásd 3. ábra), elnevezésük: nagyon lassú (NL), lassú (L), gyors (Gy) és nagyon gyors (NGy).

### 2.2 Kimenő paraméter

A rendszer kimenete a fékerő szükséglet. Ez alapján megállapítható, hogy a maximális fékerő mekkora hányada szükséges a jármű biztonságos megállításához. Ennek a megadása a [0, 1] intervallumon történik. A tagsági függvények az 4. ábra szerint alakulnak: nagyon gyenge (NGy), gyenge (Gy), erős (E), nagyon erős (NE).



4. ábra: A fékerő szükséglet tagsági függvényei

### 2.3 Szabálybázis

A létrehozott következtető rendszer szabálybázisa *HA ... AKKOR... (IF ... THEN ...)* kialakítású szabályokból épül fel.

A megalkotott 16 szabály definiálása a Matlabban szöveges formában történik:

1. IF távolság = NK AND sebesség = NL THEN fék = Gy
2. IF távolság = NK AND sebesség = L THEN fék = E
3. IF távolság = NK AND sebesség = Gy THEN fék = NE
4. IF távolság = NK AND sebesség = NGy THEN fék = NE
5. IF távolság = K AND sebesség = NL THEN fék = Gy
6. IF távolság = K AND sebesség = L THEN fék = Gy
7. IF távolság = K AND sebesség = Gy THEN fék = E
8. IF távolság = K AND sebesség = NGy THEN fék = NE
9. IF távolság = M AND sebesség = NL THEN fék = NGy

10. IF távolság = M AND sebesség = L THEN fék = Gy
11. IF távolság = M AND sebesség = Gy THEN fék = E
12. IF távolság = M AND sebesség = NGy THEN fék = E
13. IF távolság = NM AND sebesség = NL THEN fék = NGy
14. IF távolság = NM AND sebesség = L THEN fék = NGy
15. IF távolság = NM AND sebesség = Gy THEN fék = Gy
16. IF távolság = NM AND sebesség = NGy THEN fék = E

Ezek láthatóak 1. táblázatban is.

1. táblázat: Fuzzy szabályok

távolság \ sebesség	nagyon lassú	lassú	gyors	nagyon gyors
nagyon közel	gyenge	erős	nagyon erős	nagyon erős
közeli	gyenge	gyenge	erős	nagyon erős
messze	nagyon gyenge	gyenge	erős	erős
nagyon messze	nagyon gyenge	nagyon gyenge	gyenge	erős

#### 2.4 Következtető rendszer

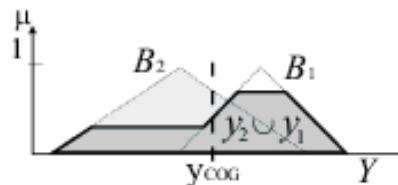
A feladat megvalósítása Mamdani típusú [11] Fuzzy következtető rendszerrel történt. Az alkalmazott operátorok az alábbiak szerint alakultak:

- „és”: min operátor,
- implikáció: min operátor,
- aggregáció: max operátor.

#### 2.5 Defuzzifikáció

A Mamdani típusú következtető rendszerek eredménye egy Fuzzy halmaz. A rendszer leírására azonban egy olyan konkrét érték szükséges, mely megfelelően jellemzi a működést. A kimenet meghatározására a defuzzifikáció során kerül sor.

Jelen tanulmány keretein belül a súlyponti (centroid) módszert alkalmazzuk (lásd 5. ábra).

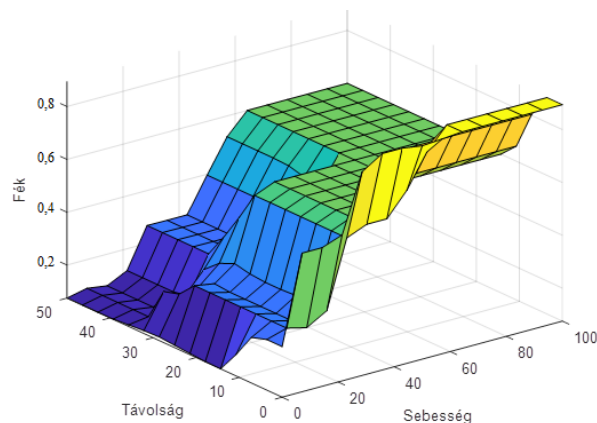


5. ábra: A súlyponti módszer [7]

A létrehozott következtető rendszer működését a tüzelési szintek feltüntetésével, valamint a kimenet tagsági függvényeinek és crisp értékeinek együttes megadásával szemlélteti a 6. ábra grafikus módon.

### 3 EREDMÉNYEK

A 7. ábrán látható grafikon a kimeneti felületet jeleníti meg a bemenetek függvényében. Jól látszik, ha a jármű nagy sebességgel halad és közel van az objektumhoz, akkor a fékerő szükséglet maximális lesz ez az állapot a felület sárga része. Abban az esetben, ha a jármű távol van az akadálytól és kis sebességgel halad, a fékszükséglet minimális, ezt az állapotot a sötétkék szín jelzi az ábrán. A világosabb zöld és világos kék színek pedig az átmeneti állapotokat szemléltetik.

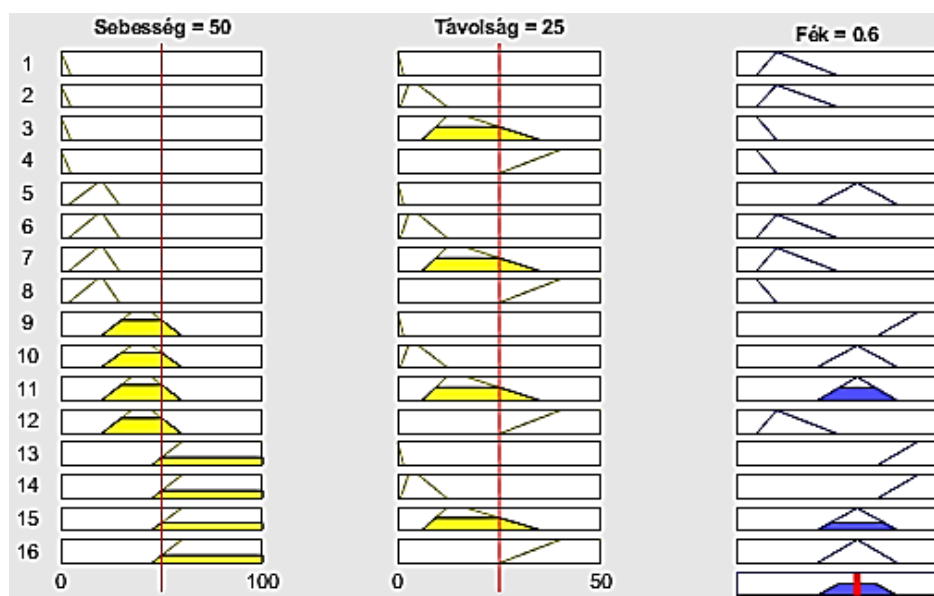


7. ábra: Kimenet a bemenetek függvényében

### 4 TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A cikkben bemutatott fuzzy alapú fékrendszer vezérlés elsősorban szakirodalmi ajánlásokat [10] vett figyelembe a fékerő szükséglet mértékének meghatározására. Ennek adaptálása városi (alacsonyabb haladási sebesség) környezetre történt.

A rendszer továbbfejlesztésének lehetősége a bemeneti paraméterek (objektumtól mért távolság és sebesség) közötti összefüggés, valamint függvény alakban felírható kapcsolat figyelembe vételével történhet.



6. ábra: A következtető rendszer működése

Megállapítható ugyanis, hogy a fuzzy rendszer bevezetésével kapott szabadság, mely az egyes paraméterek nyelvi kifejezésekkel való leírhatóságában rejlik, további kérdéseket vet fel. Ugyanis más tekinthető „nagyon messze” levő objektumnak a különböző haladási sebességek esetén.

Általánosan megállapítható, hogy egy adott objektum és a jármű lassulásának megkezdése között ugyanis közelítőleg 1 másodperc telik el (reakcióidő, megfelelő féknyomás felépülésének időszükséglete). Ez alatt a gépkocsi azonban tovább halad [12].

Amennyiben a személygépjármű sebessége 15 km/h, ami megfelel 4,17 m/s-nak, azaz 1 másodperc alatt ~ 4 m-rel kerülünk közelebb az előttünk haladóhoz.

Azonban 50 km/h sebesség már ~ 14 m megtett utat jelent. A 2. ábrán látható tagsági függvények esetén ez már a „messze” kategóriába esik.

Szintén javítaná a rendszert a mozgó (másik haladó jármű, kerékpáros, gyalogos, stb.) és az álló akadályok (álló jármű, korlát, stb.) külön kezelése, további bemenet lehetne ez esetben a jármű és az akadály sebességének különbsége.

Ennek megfelelően jövőbeni célunk a két bemenő paraméter közötti kapcsolat már a következtető rendszerbe való integrálása, esetleg további változók figyelembe vételével, a bemeneti tagsági függvények és szabályrendszer hangolásával történő megvalósítás lehetőségeinek vizsgálata.

## 5 KONKLÚZIÓ

Jelen tanulmány egy Mamdani típusú fuzzy modell alapú, azonban a szabálybázisban tapasztalati eredményeket is felhasználó irányítási rendszer lehetőségét mutatja be az automatikus fékrendszerek fékerő szükségletének meghatározására városi közlekedés esetén.

Bemenetként a közlekedési környezet egyéb résztvevőitől (objektumok) mért távolságot, valamint a jármű haladási sebességét adtuk meg. A rendszer kimenete a szükséges fékerősítés mértéke volt a létrehozható maximális fékerőhöz viszonyítva.

Mindhárom paraméter leírása háromszög- és trapéz alakú tagsági függvényekkel történt.

A defuzzifikáció centroid eljárással történt.

Összességében megállapítható, hogy a legkisebb beavatkozási igény távoli objektum és alacsony sebességesetén szükséges. Ellenben magas sebességtartományban, közeli tárgyakkal már a maximális fékrásegítés válik elkerülhetetlenné.

A megalkotott rendszer finomítása, továbbfejlesztése a bemenő paraméterek összekapcsolásával történhet.

## 6 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a cikk az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar és a Magyar Fuzzy Társaság támogatásával készült.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Kőfalusi Pál, Antal Ákos, Varga Ferenc, Kádár Lehel, Fodor Dénes, Járműfedélzeti elektronika, Elektronikus asszisztens rendszerek, 2014, BME MOGI, [http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jarmufedezeti\\_elektronika/ch03.html](http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jarmufedezeti_elektronika/ch03.html), [Elérhető: 2019.11.14]
- [2] C. Sakthivel et al. Automatic Braking System in Train using Fuzzy Logic, 266-267.o, 2018.április
- [3] Hailperin, T. (1986). Boole's logic and probability: a critical exposition from the standpoint of contemporary algebra, logic and probability theory (Vol. 85). Elsevier.
- [4] Pratihari, D. K. (2013). *Soft computing: fundamentals and applications*. Alpha Science International, Ltd.
- [5] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- [6] Stuart Russell et al. Mesterséges intelligencia – Tananyagbővítés, 2005.
- [7] Kóczy, L. T., Tikk, D. (2000). Fuzzy rendszerek. *TypoTEX, Budapest*.
- [8] Tóthné Dr. Laufer Edit, Fuzzy rendszerek mérnöki alkalmazása, OE, Moodle, 2019
- [9] A fuzzy logika és a fuzzy szabályozás, [https://web.archive.org/web/20060908165118/http://www.rit.bme.hu/letoltheto/szamszim/F\\_4/Fuz\\_log.html#Eleje](https://web.archive.org/web/20060908165118/http://www.rit.bme.hu/letoltheto/szamszim/F_4/Fuz_log.html#Eleje), [Elérhető: 2019.11.14.]

- [10] Vipul Shinde, Rohan Thorat, Trupti Agarkar, Automatic Car Driving System Using Fuzzy Logic, B.E Electronics, RamraoAdik Institute of Technology, Nerul, Navi Mumbai, Vol. 5, Issue 3, March 2018
- [11] Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1-13.
- [12] Melegh, G. (2004). Gépjárműszakértés. *Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft.*