

# FUZZY ALAPÚ MEGKÖZELÍTÉS AZ UTASTÉR HANGMINŐSÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSÁRA

## FUZZY BASED PREDICTION METHOD FOR INTERIOR SOUND QUALITY

Lukács Judit\*

### ABSTRACT

*The XXIst century provides an accelerated life that results significant changes in road traffic as well. With the increased number of vehicles on the road, the traffic noise level is enhanced, which conflicts with traffic safety issues: the acoustic appreciability of accidents is worsened. In this paper, a soft computing based cabin noise prediction model is introduced. The accuracy of the model was verified, residuals were investigated. It was revealed that it is able to predict cabin noise with high accuracy. The results can be used for generating an expert decision support system to analyze the appreciability of road accidents via hearing.*

### 1. BEVEZETÉS

A XXI. század közlekedési környezete jelentős eltérést mutat a korábbi időszakokhoz képest. Nagymértékben megnövekedett az emberek napi szinten a járműben töltött ideje, emellett a közúti forgalomban résztvevő gépkocsik száma is [1].

Mindezek következtében jelentősen emelkedett a városok zajterhelése is. A közúti közlekedés következtében kialakuló zaj számos komponensből tevődik össze. Mikro szinten ezek a motor, a kipufogórendszer, az erőátvitel, az abroncs, az út, a karosszéria és az aerodinamikai zajok.

Singh D. és társai [2] négy különböző módszert vizsgáltak az óránkénti közlekedési zaj becslésére: egy hagyományos lineáris modell, valamint három légyszámítási eljárás (döntési fák, véletlen erdők módszere és mesterséges neurális hálók) eredményeit hasonlították össze. Bemeneti adataik az indiai Patiala városában rögzített zajmérések eredményei voltak. Megállapították, hogy légyszámítási eljárásokkal, különösen a véletlen erdők módszerével pontosabb és stabilabb modell hozható létre.

A zajszennyezés mellett azonban hasonlóan hangsúlyos kérdés az akusztikai komfortérzet, mely egy igen nehezen definiálható és minősíthető paraméter. A zajt ugyanis a vizsgált személyek szubjektív módon ítélik meg és érzékelik [3].

Számos vizsgálati eljárás van alkalmazásban [4]. Azonban a vásárlói oldalról támasztott követelmények sokrétűségének nehéz megfelelni. A járműiparra különösen igaz, hogy a széles termékpaletta következtében a különféle márkák, típusok esetén más-más hanghatást vár el a felhasználó, mely már presztízkérdésnek tekinthető. Így a hanghatás minősége magával a termékminőséggel párosul a vásárlói döntés során. Más karakterisztikát várunk el ugyanis egy Harley Davidson motorjának hangjától, mint egy családi egyterűétől. Ennek következtében a hangminőség viszonylagosságának figyelembevételére intelligens, légyszámítási eljárások alkalmazása is széles körben elterjedt [5].

Huang és társai [6] több rejtett réteggel rendelkező neurális háló segítségével becsülték a beltérben létrejövő hangminőséget. Vizsgálataikat a Volkswagen csoport négy középkategóriás személygépjárművén végezték el, melyek közül kettő automata, a másik kettő pedig manuális sebességváltóval volt szerelve. A zajt a vezetőülés, az első utasülés, valamint a hátsó ülés felett elhelyezett mikrofonok segítségével mérték nyílt terepen, egysávos, egyenes tesztpályán haladva. Ezen felül a zajosság szubjektív megítélését 24 személy bevonásával végezték el. Az osztályzás ötfokú skálán történt referenziaajhoz képest (1: sokkal zavaróbb, 5: sokkal kellemesebb). Megállapították, hogy a felépített neurális háló alkalmas a kocsiszekrényben kialakuló belső zajszint okozta relatív hangminőség meghatározására.

Chen és társai [7] mérési eredmények alapján több hangminőségi paramétert vizsgáltak személygépjárművek utasterében: hangnyomásszintet, hangosságot, élességet és keménységet, melyek meghatározására mesterséges neurális hálót hoztak létre. A mért és számított értékek összehasonlításakor arra a következtetésre jutottak, hogy a rendszerük alkalmas a kocsiszekrény hangminőségi paraméterek megfelelő pontosságú becslésére. Későbbi vizsgálataik [8] során Grey reláció elemzést alkalmaztak a szubjektív és az objektív mérőszámok kapcsolatának felfedésére. Ennek alapját nyolc vizsgált jármű különböző üzemmállapotában rögzített, beltérből származó hanganyaga adta.

\* adjunktus, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki kar

Az utastér hangtani minőségét jelentősen befolyásoló bűgő, zörgő hangokat tanulmányozta Lee S. K. és társai [9]. A zajosság minősítésére hiba visszaterjesztéses algoritmuson alapuló neurális hálót alkottak, melynek működését sikeresen tesztelték tömeggyártásban előállított személygépjárműveken.

Parizet és társai [10] a zajok és rezgések észlelhetőségét tanulmányozta három- és négyhengeres haszongépjárművek esetén. Elsődleges céljuk a beltérben tapasztalható, hangtani szempontból vett komfortérzetet befolyásoló jelek hatásának összehasonlítása és becslése volt.

A közúti közlekedési környezet egyik legkiszámíthatatlanabb tényezője maga az ember. Különösen nehéz objektív megállapításokat élőlényekre jellemző problémák esetén. Ebbe a csoportba tartozik maga az észlelés is.

Jelen tanulmányban egy egyszerűen megadható változókon alapuló modell megalkotását tűztem ki célul, mely könnyen kiértékelhető, az utastér belső környezetének jellemzésére alkalmas paraméter meghatározására alkalmas.

Az ismertetett eljárás balesetek hallhatóságának vizsgálatára alkalmas szakértői döntéstámogató rendszer létrehozásához.

## 2. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

### 2.1. Kísérletbe vont jármű és eszközök

Az akusztikai vizsgálatokat egy 2004-es évjáratú SKODA Fabia Combi járművön hajtottam végre. A gépkocsi technikai sajátosságait az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat A vizsgált jármű technikai sajátosságai

<b>Márka</b>	SKODA
<b>Típus</b>	FABIA
<b>Évjárat</b>	2004
<b>Hengerűrtartalom</b>	1198 cm <sup>3</sup>
<b>Hengerek (szelepek) száma</b>	3 cyl. (12 V)
<b>Teljesítmény</b>	47 kW (5400 rpm)
<b>Üzemanyag típusa</b>	benzin

A mérések során Hohner Stereo 50+ kéthangfalas zajgenerátort és Swantek 959 zajszintanalizátort használtam.

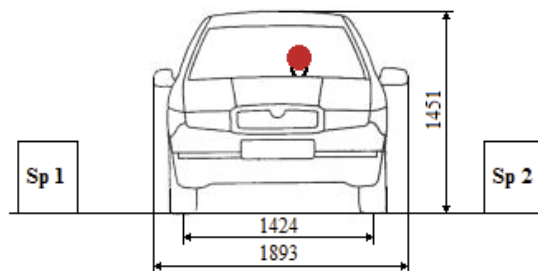
A modellalkotást a Matlab Fuzzy Toolbox, míg a statisztikai vizsgálatokat a Minitab segítségével hajtottam végre.

### 2.2. Alkalmazott mérési módszer

A 1. ábra szemlélteti a vizsgálati elrendezést.

A mérések végrehajtása során szakirodalmi és szabványi ajánlásokat egyaránt figyelembe vettem [11][12]. A hangfalakat a jármű két oldalán, attól 1 m

távolságra, a zajszintanalizátort a gépkocsin belül, a járművezető jobb fülének magasságában helyeztem el. Vizsgálójaként rózsazajt alkalmaztam.



1. ábra Mérési elrendezés

Korábbi tanulmányok [13] eredményeit felhasználva két bemenő paramétert választottam ki, melyek az utastérben a jármű üzemállapotából adódó zajszint ( $x_1$ , dB), valamint a külső hangforrásból származó gerjesztő hanghatás zaja ( $x_2$ , dB) voltak. Ezeket 3-3 szinten változtattam (lásd 2. táblázat).

2. táblázat A bemenő paraméterek beállítási pontjai

Szint	Gépjármű üzemállapota	Gerjesztés
	$x_1$ , -/dB	$x_2$ , -/dB
0	Álló motor/18,4	alacsony/71,2
1	Alapjárat/44,5	közepes/80,5
2	Alapjárat + 2. fokozatú ventilátor/53,6	magas/95,6

Mivel a legtöbb közlekedési zaj becslésére alkalmas modell az egyenértékű hangnyomásszinttel dolgozik [3], továbbá ez a paraméter alkalmas a környezeti körülmények akusztikai szempontból történő változásainak jellemzésére [14], valamint az utastér hangminőségének objektív jellemzésére is [7][8]. Így a vizsgálatok során egyenértékű hangnyomásszint került rögzítésre.

### 2.3. Alkalmazott modellalkotási módszer

A XXI. században egyre inkább fokozódik az igény a hagyományos módszerekkel matematikailag nehezen kezelhető problémák megoldására. Ilyen esetekben kerülnek terítékre a biológiai ihletésű, úgynevezett lágyszámítási módszerek.

Ezek főbb irányzatai:

- fuzzy logika,
- neurális hálózatok és
- genetikus algoritmusok.

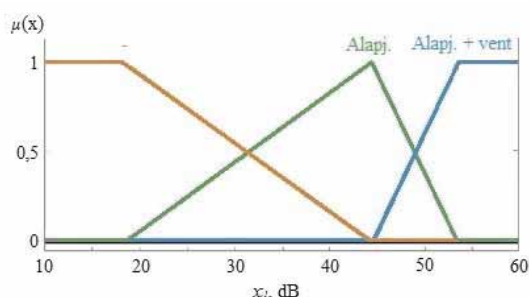
A fuzzy megközelítés alapelve, hogy az emberi gondolkodásmódot követve tudjuk leírni a folyamatokat. A mesterséges neurális hálózatok az idegrendszer működését, az idegsejtek ingerületvezetését modellezzik.

A genetikus algoritmusok pedig a törzsfajlás jellegét követik [15].

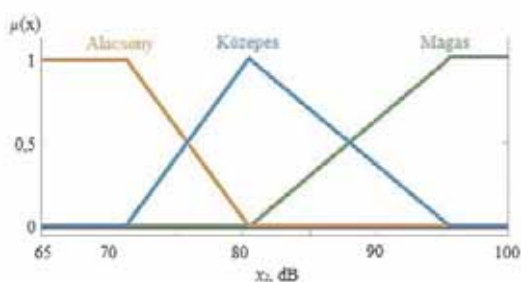
Egy meglévő rendszer vizsgálatának, leírásának problémái legtöbbször információhiányból, bizonytalanságból, pontatlanságból erednek. Ilyen esetekben alkalmazható a közelítő következtetés.

A fuzzy logika és halmazelmélet alapjainak lefektetése L. A. Zadeh [16] nevéhez fűződik. Lényege, hogy az emberi gondolkodásmóddhoz hasonló jelleggel, a részleges igazság fogalmának bevezetésével lehetővé váljon a nem csupán kétértékű logikai elven történő megközelítés. A klasszikus (crisp) halmazelmélethez képest eltérés, hogy a halmazok határai nem élesek, hanem elmosódtak (az angol fuzzy kifejezés jelentése: elmosódott). Így adódik lehetőség az átmenetek jobb kezelésére.

A következtető rendszer kialakítása a fuzzifikálással kezdődik, mely a változók tagsági függvényekkel történő leírását jelenti. Jelen esetben a bemenő paraméterek megadásához beállítási szintenként egy-egy tagsági függvényt alkalmaztam, melyek háromszög, illetve trapéz alakúak voltak. Ezeket szemlélteti a 2. és 3. ábra.



2. ábra Üzemállapot tagsági függvényei



3. ábra Gerjesztés tagsági függvényei

A szabálybázis tartalmazza a felhalmozott szakértői tudás anyagát és következtetéseit. Maguk a szabályok feltételeket (antecedensek) és következményeket (konzekvenszek) egyaránt magukba foglalnak, alakjuk általános esetben az (1) egyenlet szerint alakul:

$$R_i: \text{IF } x_1 = A_{1i1} \text{ AND } x_2 = A_{2i2} \text{ THEN } y = y_{i1,2} \quad (1)$$

ahol  $R_i$  az  $i$ -edik szabály ( $1 \leq i \leq 9$ ),  
 $x_1$  és  $x_2$  a bemenetek,  
 $A_{1i1}$  és  $A_{2i2}$  az antecedens halmazok,

$y$  a kimeneti változó,

$y_{i1,2}$  az  $i$ -edik szabály konzekvens része [17].

Amennyiben a bemenetek minden lehetséges kombinációjának fennállásakor rendelkezésre áll legalább egy aktiválható szabály nem nulla teljesülési mértékkel, a szabálybázist sűrűnek (lefedőnek) nevezzük [18].

A modell szabálybázisát a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat A létrehozott következtető rendszer szabálybázisa

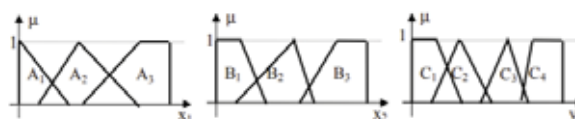
Szab.		$x_1, \text{dB}$		$x_2, \text{dB}$		$L_{Aeq}, \text{dB}$
$R_1$	IF	-	AND	alacsony	THEN	47,20
$R_2$		-		közepes		57,45
$R_3$		-		magas		72,75
$R_4$		alapj.árat		alacsony		49,35
$R_5$		alapj.árat		közepes		60,20
$R_6$		alapj.árat		magas		72,65
$R_7$		alapj. + vent		alacsony		55,35
$R_8$		alapj. + vent		közepes		60,40
$R_9$		alapj. + vent		magas		72,30

A rendszer lelke azonban a következtető egység, amely megteremti a bemenetek, a szabálybázis, valamint a kimenetek közötti kapcsolatot. Többféle eljárás létezik.

Maga a kompozíciós következtetés alap gondolata szintén Zadeh nevéhez fűződik, azonban Mamdani [19] által átdolgozásra került, így Mamdani típusú következtető rendszer néven ismeri a tudományos világ. Lényege, hogy minél nagyobb illeszkedés tapasztalható egy szabály antecedens halmazában, annál nagyobb súllyal kell figyelembe venni a konzekvensben, így a kimeneti fuzzy halmazban. A szabályok feltételi oldalán "ÉS" vagy "VAGY" logikai kapcsolat lehet az egyes bemenetek között, ezeket legtöbbször min vagy max operátorokkal kezeljük.

A következtetés menetét egy konkrét példán keresztül szemléltetem a következőkben.

Vegyünk egy két bemenettel ( $x_1$  és  $x_2$ ) és egy kimenettel ( $y$ ) rendelkező rendszert. A feltételi oldalon mindkét változó alaphalmazra három nyelvi elemmel, míg a következmény négy értékkel kerül leírásra. Az univerzumok partícióit szemlélteti a 4. ábra.



4. ábra Rendszer példa [18]

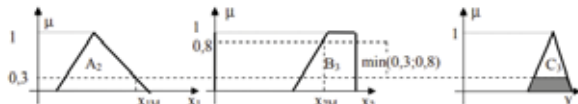
A rendelkezésre álló ismeretanyag leírása két szabállyal történik (lásd (2) és (3) egyenletek).

$$R_1: \text{IF } x_1 \in A_2 \text{ AND } x_2 = B_3 \text{ THEN } y = C_3 \quad (2)$$

$$R_2: \text{IF } x_1 \in A_3 \text{ AND } x_2 = B_3 \text{ THEN } y = C_2 \quad (3)$$

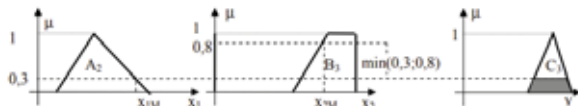
A Mamdani típusú következtető rendszer esetén a mérés során kapott értékpár  $(x_{1M}, x_{2M})$  vizsgálatkor első lépésben külön-külön meg kell határozni az adott tagsági függvényben való illeszkedés mértékét mindkét bemenő értékre:  $x_{1M}$  illeszkedését  $A_2$ -ben, valamint  $x_{2M}$ -ét  $B_3$ -ban.

Mivel az  $R_1$  szabály feltételi oldalán az antecendensek  $\text{ÉS}$  kapcsolatban vannak, a következmény oldalon a  $C_2$ -ben vett teljesülésének mértéke a tagsági értékek minimumával számítható (lásd 5. ábra).



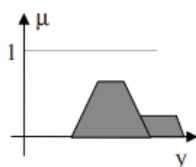
5. ábra (2) egyenlet aktiválása [18]

A kiválasztott  $x_{1M}, x_{2M}$  értékpár esetén azonban az  $R_2$ -es szabály is aktiválható. Ez esetben vizsgálandó  $A_3$ -ban és  $B_3$ -ban az illeszkedés mértéke, a tagsági értékek minimuma adja majd a  $C_2$ -es nyelvi értéknek való megfelelést (lásd 6. ábra).



6. ábra (3) egyenlet aktiválása [18]

A következtetés eredménye a szabályok részeredményeiként kapott fuzzy halmazok uniója.



7. ábra Kimenet [18]

Ennek értelmezése a 7. ábrán látható megvalósulásában azonban nehézségeket okoz. Így szükségessé válik az eredményként kapott tagsági függvények defuzzifikálása, melynek során jobban értékelhető, számszerűsíthető crisp értékeket kapunk. Erre többféle módszer is létezik.

A Mamdani típusú fuzzy rendszerek mellett szintén gyakran alkalmazott a Sugeno [20] típusú változat. A két rendszer működése közelítőleg megegyezik egészen az utolsó lépésig, a defuzzifikációig. Sugeno változata ugyanis nem igényel defuzzifikációt. A kimenete konstans (nulladfokú), a bemenetek közötti lineáris (elsőfokú, Takagi-Sugeno), vagy magasabb fokú polinomiális összefüggés (Takagi-Sugeno-Kang) [17]. A

Mamdani és a Sugeno típusú eljárásváltozatok közötti leglényegesebb különbségek az alábbiak: Mamdani következtetés:

- a következtetés kimenete tagsági függvény,
- crisp eredményhez defuzzifikációra van szükség,
- egy vagy több bemenet és
- egy vagy több kimenet kezelésére alkalmas,
- kevésbé rugalmas a rendszer,
- magasabb számítási kapacitásra van szükség.

Sugeno következtetés:

- kimenete konstans érték, vagy polinom jellegű összefüggés a bemenetek között,
- defuzzifikációra nincs szükség
- egy vagy több bemenet és
- egy kimenet kezelésére alkalmas,
- rugalmas rendszer,
- kisebb számítási kapacitás szükséges [17][21].

Jelen tanulmány keretein belül a fent ismertetett előnyös tulajdonságokat kihasználva, egy két bemenettel (gépjármű üzemállapota és gerjesztés), valamint egy kimenettel (egyenértékű hangnyomásszint) rendelkező MISO prediktív modell került megalkotásra.

### 3. EREDMÉYEK

Az végrehajtott akusztikai mérések eredményei alapján történt a következtető rendszer megalkotása. Ezt követően eszközöltem egy kiegészítő mérésorozatot is, mely esetében a bemenő paraméterek azonos értéktartományból származtak, de mégis az eredeti beállítási pontoktól eltérő értékeket tartalmaztak. Ezeket a modellt konfirmálására használtam.

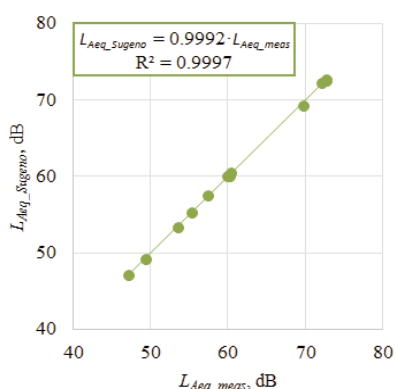
4. táblázat A modell pontossága

M. p.	$x_1$ dB	$x_2$ dB	$L_{Aeq\_mért}$ dB	$L_{Aeq\_Sugeno}$ dB	$\Delta L_{Aeq\_Sugeno}$ dB	$\Delta L_{Aeq\_Sugeno}$ %
1.	18,4	71,2	47,2	47,1	-0,10	-0,21%
2.	18,4	80,5	57,45	57,5	0,05	0,09%
3.	18,4	95,6	72,75	72,7	-0,10	-0,07%
4.	44,5	71,2	49,35	49,2	-0,15	-0,30%
5.	44,5	80,5	60,2	60,1	-0,10	-0,17%
6.	44,5	95,6	72,65	72,6	-0,05	-0,07%
7.	53,6	71,2	55,35	55,3	-0,05	-0,09%
8.	53,6	80,5	60,4	60,5	0,10	0,17%
9.	53,6	95,6	72,15	72,3	0,15	0,21%
10.	18,4	83,1	59,9	60,1	0,20	0,33%
11.	44,5	74,8	53,6	53,4	-0,20	-0,37%
12.	53,6	91,7	69,7	69,3	-0,40	-0,57%

A vizsgálatok során kapott mért és számított értékeket a 4. táblázat tartalmazza.

A 4. táblázat alapján megállapítható, hogy a számított egyenértékű hangnyomásszint értékek igen jól közelítik a mérés során rögzítetteket. A reziduumok nagysága kicsi, a modellépítésre használt pontok esetében -0,15...0,15 dB közé esnek, a konfirmáló beállítások vizsgálatokor sem haladják meg a  $\pm 0,5$  dB-es értéket (-0,4...0,2 dB). Az eltérések fajlagos értékei szűk intervallumot fednek le, ez az építő és konfirmáló pontok együttes vizsgálatokor -0,57...0,33% terjedelmet jelent. Mindezek alapján a létrehozott Sugeno alapú prediktív modell pontossága megfelelőnek tekinthető.

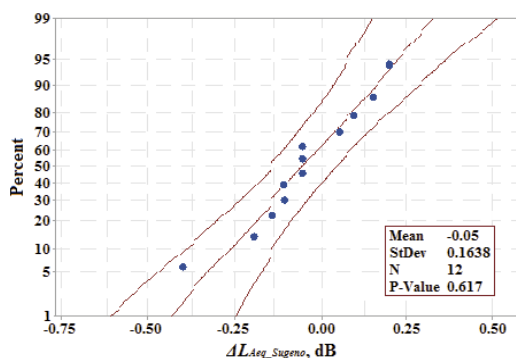
A pontosság grafikus szemléltetése látható a 8. ábrán.



8. ábra Eredmények grafikus ábrázolása

A 8. ábrán jól látható, hogy a számított értékeket a mért eredmények függvényében ábrázoljuk, majd a kapott pontthalmazra lineáris függvényt illesztünk, az identitás függvényt ( $y=x$ ) nagy pontossággal közelíthetjük, mely a nagyfokú illeszkedést jelenti.

Fenomenológiai modellek esetén a megfelelőség vizsgálatához hozzátartozik a reziduumok eloszlásának vizsgálata. Megfelelőnek vesszük azt a tapasztalati összefüggést, amelynek a reziduumai 0 körüli átlaggal, kis szórással normál eloszlást követnek.



9. ábra Normalitásháló

A 9. ábrán látható normalitásháló alkalmas ennek elemzéséhez. A kiértékeléskor a a modellépítésre és a

konfirmálásra használt beállítási pontokat összevontan értékeltem. Megállapítható, hogy megfelelőség igazolható, mivel az eloszlásra, átlagra és szórársra vonatkozó kritériumok egyaránt teljesülnek. Emellett a modell heteroszkedaszticitás szempontjából is megfelelnek.

#### 4. KONKLÚZIÓ

Jelen tanulmány keretein belül az utastérben kialakuló egyenértékű hangnyomásszint számítására alkalmas fenomenológiai modellt alkottam. A két bemeneti paraméter az alapzajszint, valamint a külső eredetű gerjesztés voltak. Ennek megvalósítására Sugeno típusú fuzzy következtető rendszer alkottam.

A modell megfelelőségét megvizsgáltam a pontosság szempontjából. Ezen felül konfirmáló méréseket is végrehajtottam, valamint elvégeztem a reziduumok vizsgálatát.

A kapott eredmények alapján az alábbi következtetéseket vontam le:

- Az épített fuzzy alapú empirikus modell pontossága megfelelő, jól leírja a vizsgált bemenő paraméter tartományt. A mért és számított értékek közötti eltérések -0,4...0,2 dB (-0,57...0,33%) tartományban találhatók.
- Megállapítható, hogy az épített modell jól illeszkedik a mérési eredményekre, mind a modellalkotásra használt, mind pedig a konfirmáló mérési adatok esetén.
- Reziduum vizsgálatok alátámasztották a fenomenológiai modell megfelelőségét: a reziduumok átlaga közelítőleg zérus, szóráruk kicsi és normál eloszlást követnek.

Összességében tehát megállapítható, hogy a létrehozott Sugeno típusú fuzzy következtető rendszer kifejezetten alkalmas az utastérben kialakuló zajszint egyszerű paramétereken alapuló számítására.

A prediktív modell alkalmazható lehet szakértői döntéstámogató rendszer létrehozására, melynek célja közlekedési balesetek észlelhetőségének vizsgálatára.

#### 5. IRODALOM

- [1] KOLNHOFER-DERECSKEI, A., REICHER, R. Z., SZEGHEGYI, Á. (2019). Transport Habits and Preferences of Generations—Does it Matter, Regarding the State of The Art?. *Acta Polytechnica Hungarica*, 16(1).  
DOI: 10.12700/APH.16.1.2019.1.2
- [2] SINGH, D., NIGAM, S. P., AGRAWAL, V. P., KUMAR, M. (2016). Vehicular traffic noise

- prediction using soft computing approach. *Journal of Environmental Management*, 183, 59-66.  
DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.08.053
- [3] WANG, Y. S., LEE, C. M., KIM, D. G., XU, Y. (2007). Sound-quality prediction for nonstationary vehicle interior noise based on wavelet pre-processing neural network model. *Journal of Sound and Vibration*, 299(4-5), 933-947.  
DOI: 10.1016/j.jsv.2006.07.034
- [4] PANZA, M. A. (2015). A review of experimental techniques for NVH analysis on a commercial vehicle. *Energy Procedia*, 82, 1017-1023.
- [5] PIETILA, G., LIM, T. C. (2012). Intelligent systems approaches to product sound quality evaluations—A review. *Applied Acoustics*, 73(10), 987-1002.  
DOI: 10.1016/j.apacoust.2012.04.012
- [6] HUANG, H. B., HUANG, X. R., LI, R. X., LIM, T. C., DING, W. P. (2016). Sound quality prediction of vehicle interior noise using deep belief networks. *Applied Acoustics*, 113, 149-161.  
DOI: 10.1016/j.apacoust.2016.06.021
- [7] CHEN, S., WANG, D., WU, Y., LIU, Z., WANG, H. (2013). Objective evaluation of interior sound quality in passenger cars using artificial neural networks. *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, 6(2013-01-1704), 1078-1086.  
DOI: 10.4271/2013-01-1704
- [8] CHEN, S., WANG, D. (2014). Vehicle interior sound quality analysis by using grey relational analysis. *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, 7(2014-01-1976), 355-366.  
DOI: 10.4271/2014-01-1976
- [9] LEE, S. K. (2008). Objective evaluation of interior sound quality in passenger cars during acceleration. *Journal of Sound and Vibration*, 310(1-2), 149-168.
- [10] PARIZET, E., NOSULENKO, V., AMARI, M., LORENZON, C. (2005). Free verbalizations analysis of the perception of noise and vibration in cars at idle. *Acta Acustica united Acta*, (Suppl 1).
- [11] ISO 5128-1980 (1980) Measurement of Noise inside Motor Vehicles
- [12] PUTRA, A., MUNIR, F. A., JUIS, C. D. (2012). On a simple technique to measure the airborne noise in a car interior using substitution source. *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*, 8(3), 275-287.
- [13] LUKÁCS J., MELEGH G. (2017) Sound perception inside stationary vehicles in case of frontal audio source. *Obuda University e-Bulletin* 7 (1) pp. 57-61.
- [14] BERA, J., POKORÁDI, L. (2015). Monte-Carlo Simulation of Helicopter Noise. *Acta Polytechnica Hungarica*, 12(2), 21-32.  
DOI: 10.12700/APH.12.2.2015.2.2
- [15] ARADI, P. ET AL. (2014). Számítógépes szimuláció.
- [16] ZADEH, L. A. (1965). Information and control. *Fuzzy sets*, 8(3), 338-353.
- [17] KÓCZY, L. T., TIKK, D. (2000). Fuzzy rendszerek. TypoTEX, Budapest.
- [18] JOHANYÁK, CS. ZS. (2004) Fuzzy következtetési módszerek. *Főiskolák Matematika, Fizika és Számítástechika Oktatóinak XXVIII. Országos Konferenciája*
- [19] MAMDANI, E. H. (1974, december). Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *In Proceedings of the institution of electrical engineers* (Vol. 121, No. 12, pp. 1585-1588). IET
- [20] SUGENO, M., YASUKAWA, T. (1993). A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 1(1), 7.
- [21] KHOSRAVANI, R., SABAH, M., WOOD, D. A., SHAHRYARI, A. (2016). Weight on drill bit prediction models: Sugeno-type and Mamdani-type fuzzy inference systems compared. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 36, 280-297.  
DOI: 10.1016/j.jngse.2016.10.046