

Defuzzifikációs módszerek megfelelőségének vizsgálata utastér zajszintjének meghatározására

Investigation of defuzzification techniques for interior noise prediction

Lukács Judit*

* Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet, Budapest, Magyarország

lukacs.judit@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás — Napjaink személygépjárműveivel szemben szerteágazó elvárásokat támaszt a fogyasztóközönség. Az utazási kényelem fogalomköre magába foglalja az akusztikai minőséget is, mely egyre növekvő jelentőséggel bír a termék megítélésekor. Jelen tanulmányban bemutatásra kerül a kocsiszekrényben kialakuló zajszint meghatározására alkalmas prediktív modell. A létrehozott fuzzy következtető rendszer léghangmérések eredményein alapul. Őt ismert defuzzifikációs eljárás eredményei alapján megállapítható, hogy a legnagyobb pontosság a LOM módszer esetén érhető el. A megalkotott modell jóságát további confirmáló mérések igazolták.

Kulcsszavak: defuzzifikációs módszerek, utastér zajszintje, zajszint meghatározása, egyenértékű hangnyomásszint

Abstract — Nowadays passenger cars have to fulfil complex expectations from consumer side. Among the most prevalent ones is to provide a high level of travelling comfort. That issue contains acoustic well-being which includes cabin noise by reducing the disturbances sourcing the outer environment as well. In this paper, the results of acoustic measurement are presented and used for build up a Mamdani type fuzzy inference system. The results of five different types of defuzzification methods were compared: centroid, bisector, Mean of Maxima, Largest of Maxima and Smallest of Maxima methods. It was revealed that LOM provided the best fitting and the lowest range of errors. The concept was verified by further confirmation measurements.

Keywords: defuzzification techniques, cabin noise, noise prediction, equivalent continuous sound pressure level

RÖVIDÍTÉSEK

BOA — Bisector of Area, geometriai (terület) középpont (defuzzifikációs) módszer, mint COA

COA — Centre of Area, geometriai (terület) középpont (defuzzifikációs) módszer, mint BOA

COG — Centre of Gravity, súlyponti (defuzzifikációs) módszer

FIS — Fuzzy Inference System, fuzzy következtető rendszer

L_{Aeq} — Egyenértékű hangnyomásszint, dB

LOM — Largest of Maxima, legnagyobb maximum (defuzzifikációs) módszer

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

MOM — Mean of Maxima, maximumok közepe (defuzzifikációs) módszer

SOM — Smallest of Maxima, legkisebb maximum (defuzzifikációs) módszer

v_i — ütközési sebesség, km/h

x^* — defuzzifikált kimenet értéke

1 BEVEZETÉS

A közúti közlekedés kapcsán egyértelműen megállapítható, hogy az utóbbi évtizedek gyökeres változást hoztak utazási szokásainkban. A városi használatban levő személygépjárművek száma, valamint a gépkocsiban eltöltött idő jelentősen megnövekedett [1].

Mindezek következtében a járműgyártók mindent megtesznek a vásárlóközönség figyelmének felkeltése érdekében. Továbbá manapság egyre inkább előtérbe került az utazási kényelem, mely nem csupán a kezelőfelületek ergonómiáját, hanem a kocsiszekrény hangtani minőségét is magába foglalja. Ebben az esetben kulcskérdés az utasok akusztikai komfortérzetének megteremtése, mely a kabin megfelelő mértékű zajszigetelésével érhető el.

Azonban a nem kívánt, külső forrásból eredő hanghatások teljes mértékű kizárása közlekedésbiztonsági szempontoknak ellentmond. Mivel nagyszámú jármű használja egyidejűleg az utakat, a közlekedési környezet észlelése nélkülözhetetlen. Ezen a folyamat támogatására a korszerű járművekben megjelentek a kiegészítő vezetéstámogató és biztonsági rendszerek (fék-, parkolási és sávtartás-asszisztens, stb.). Ezek kettős funkciót hivatottak ellátni: feladatuk egy esetlegesen bekövetkező baleset megelőzése, továbbá csökkenthető általuk a már bekövetkezett káresemény súlyosságának mérséklése.

A kis intenzitású ütközések alacsony sebesség ($v_i = 1...5$ km/h) mellett történnek, vizsgálatuk során mégis számos nehézség adódik. Általánosságban elmondható, hogy az ilyen esetekben elsődleges szempont az észlelhetőség megítélése, amely a szándékoság meglétére is utalhat [2].

Schneider [3] szerint a balesetek vizsgálata során három érzékterület együttes értékelése szükséges. A vizuális észlelést a vezető látóterével, illetve tekintetének irányultságával lehet jellemezni. A kis sebességű ütközéseket legtöbbször rossz, vagy nem kielégítő látási

viszonyok jellemzik, amely az egyértelmű döntést megnehezíti. A taktilis és kinezetikus érzékelés az egyensúlyérzeten alapul, jelentős mértékben függ az érintkezési ponttól, ugyanis a gépkocsi karosszériája különböző merevségű részekből tevődik össze. Ezen felül szükség van az akusztikai kimutathatóságvizsgálatára is, ahol a kérdés, hogy az ütközést kísérő hangjelenség a járművön belül hallható volt-e. Ez azonban számos tényezőtől függ. Jelentősen befolyásolja a kocsiszekrény zajszigetelő képessége, valamint a belső (beszéd, jármű és segédberendezéseinek üzemeltetéséből eredő hanghatások, stb.) és külső forrásokból (környezeti és közlekedési zajok, stb.) eredő zajhatások. Összességében megállapítható, hogy ezen jelenségek befolyásolják a legnagyobb mértékben a kocsiszekrényben kialakuló zajszintet.

A belső forrásból származó hanghatások közül Angelscu és társai [4] a hűtő-fűtő ventilátor és a légkondicionáló berendezés beltér zajosságára gyakorolt hatását vizsgálta. Különböző kialakítású ventilátorlapátok megfigyelése során megállapították, hogy hűtés-fűtés működtetéséből eredő hanghatás adja az utastér zajszintjének legjelentősebb részét. További, vezetés szimulátorban elvégzett rész tanulmány eredményei alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a járműben utazó személyek többletterhelést jelentenek a vezető számára hangtani és pszichológiai szempontból egyaránt.

Előtanulmányok alapján [5] – melyek végrehajtása során vizsgáló zajként tiszta szinuszos hangforrást alkalmaztunk – megállapítható, hogy a külső környezeti zajokon túl döntő mértékben befolyásolja az utastérben mérhető hangnyomásszintet a gépjármű üzemállapota (álló vagy járó motor) és a különböző segédberendezések működtetése.

Jelen tanulmány során léghangmérések eredményei kerülnek bemutatásra. A vizsgálatok eredményei alapján egy két bemenettel és egy kimenettel rendelkező – úgynevezett MISO – fuzzy következtető rendszer került kialakításra a Matlab Fuzzy Toolbox segítségével, melynek célja a személygépjármű belterében kialakuló egyenértékű hangnyomásszint becslésére. A megalkotott modell megfelelőségét további konfirmáló mérések igazolták a teljes mérési tartományban.

2 ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

2.1 Vizsgálatba vont jármű

Az akusztikai mérések elvégzése egy SKODA FABIA COMBI személygépjárművön történt, mely nagy számban fordul elő Magyarországi útjain [6].

A vizsgált jármű főbb műszaki adatai az 1. táblázatban láthatóak.

1. táblázat: A vizsgált jármű műszaki paraméterei

Hengerűrtartalom	1198 cm ³
Hengerek száma (szelepek száma)	3 henger (12 szelep)
Teljesítmény (fordulatszám)	47 kW (5400 1/min)
Üzemanyag típusa	benzin

2.2 Felhasznált eszközök

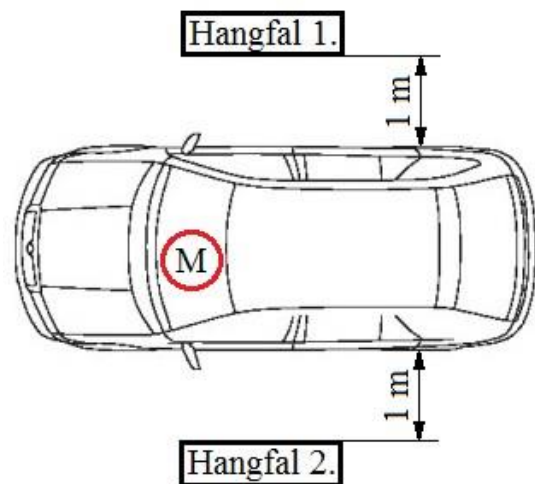
A vizsgálatok során egy Hohner Stereo 50 kéthangfalas zajgenerátort és Svantek 959 típusú zajszintanalizátort használtam.

2.3 Mérési elrendezés

A vizsgálatok elvégzésére zárt térben, alacsony alapzajszintű mellett került sor.

A mérések végrehajtása során az ISO 5128-1980 szabvány [7] ajánlásai alapján történt.

Az 1. ábrán látható módon a hangfalak a jármű két oldalán, attól 1 méteres távolságban, a mikrofon pedig a vezető jobb fülének magasságában lett elhelyezve.



1. ábra: Mérési elrendezés

Zárt ajtók és ablakok mellett került rögzítésre a beltérben kialakuló egyenértékű hangnyomásszint.

Szakirodalmi eredmények [4] [5] ismeretében különféle üzemállapotokat tanulmányoztam, mivel ezen tényező jelentősen befolyásolja a járművön belül tapasztalható hangnyomásszintet. A vizsgálatok során az egyik bemenő paraméter tehát a gépkocsi üzemállapotából adódó belső hangnyomásszint értéke. A másik független változó a kívülről érkező gerjesztő hanghatás, mely az ütközést kísérő zajának tekinthető. Mindkét beállítási paramétert három szinten változtattam, ezek láthatóak a 2. táblázatban.

2. táblázat: Bemenő paraméterek beállított értékei

Szint	Üzemállapot		Gerjesztés	
	x_1		x_2	
	Megnevezés	Peak value, dB	Megnevezés	Peak value, dB
1	-	18,4	Alacsony	71,2
2	alapjárat	44,5	Közepes	80,5
3	alapjárat + II fokozatú ventilátor	53,6	Magas	95,6

Vizsgálójajként rózsazajt alkalmaztam, mely a teljes frekvenciatartományban hangnyomásszintje oktávonként 3 dB-lel csökken [8].

A méréseket a bemenő paraméterek minden lehetséges kombinációja esetén végrehajtottam. Végül további confirmáló mérési pontok kerültek kiválasztásra, melyek az eredeti beállítások között nem szerepeltek, de vizsgált paramétertartományba tartoztak. Ezek esetében a cél a mért eredmények alapján megalkotott modell megfelelőségének igazolása volt. Mivel azonban az üzemállapot ugyan számszerűsítve van, mégis minőségi változónak tekinthető, a confirmálás során mindhárom beállítását vizsgáltam.

A megadott pontokban az egyenértékű hangnyomásszint (L_{Aeq} , dB) került rögzítésre. Ezen érték olyan állandó hangnyomásszintet jelent, melynek hangenergiája megegyezik a vizsgált zajjával. Továbbá, mivel a mérések végrehajtása nem süketszobában történt, alapzajkorrekció is szükséges volt.

2.4 Alkalmazott módszerek

A mindennapi műszaki problémák között számos olyan kérdés is felmerül, melyek egzakt matematikai módszerekkel nehezen kezelhetők, algoritmizálásra nem alkalmasak. Ez legtöbbször információhiányból, bizonytalanságból, pontatlanságból ered. Ilyen esetekben alkalmazható a közelítő következtetés [9].

A fuzzy logika és halmazelmélet L. A. Zadeh [10] 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 módszer kiválóan alkalmas valóságghú eredmények szolgáltatására olyan felmerülő problémák kapcsán, amikor a rendelkezésre álló ismeretek hiányosak, valamint nincs megfelelő méretű adatbázis statisztikai elemzések végrehajtására.

Mindezek következtében nagy népszerűségnek örvend az eljárás közelítő modellek esetén, mivel nyelvi változók használatát teszi lehetővé, továbbá a bizonytalanság, pontatlanság kezelése nem okoz nehézséget. A hagyományos módszereknél jobb pontosság érhető el alkalmazásával [11].

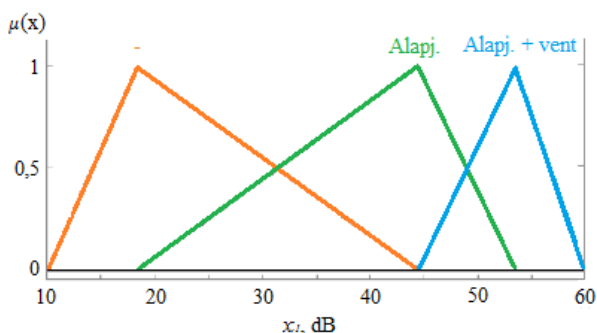
A fent ismertetett előnyök miatt mérési eredmények alapján egy MISO fuzzy következtető rendszer (FIS) került megalkotásra a személygépjármű utasterében kialakuló egyenértékű hangnyomásszint közelítő meghatározására, mely a be- és kimeneteken túl négy részegységből épül fel (lásd 2. ábra):

- fuzzifikáló egység,
- szabálybázis,
- következtető egység és
- defuzzifikáló egység.



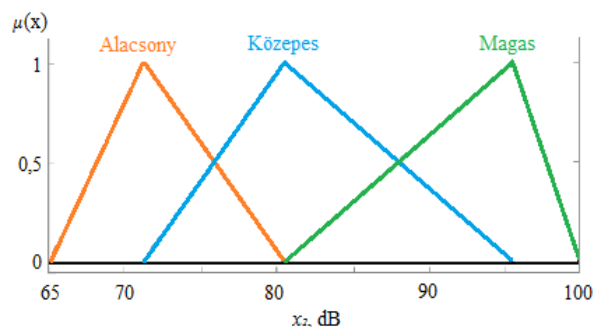
2. ábra: Általános fuzzy irányítási rendszer vázlat [12]

A fuzzy modell megalkotásának első lépése a bemenetek fuzzifikálása, amely bemeneti tagsági függvények meghatározását jelenti. Az üzemállapotból adódó, az utasterben mérhető alapzajszint (x_1 , dB), mint első bemenő paraméter háromszög alakú tagsági függvényei láthatóak a 3. ábrán.



3. ábra: Üzemállapot tagsági függvényei

A környezetből érkező gerjesztés (x_2 , dB) halmazait a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra: Külső gerjesztés tagsági függvényei

Mindkét bemenő paramétert a közlekedési környezetre jellemző tartományban vizsgáltam: $x_1 = 10 \dots 60$ dB; $x_2 = 65 \dots 100$ dB.

A szabálybázis *IF ... THEN ...* alakban felírt szabályokat tartalmaz (lásd 3. táblázat), korábban megszerzett ismeretek alapján írhatóak fel. Jellege a szakértői rendszerek szabályrendszerére hasonlít.

3. táblázat: Fuzzy szabálybázis

Szabály	x_1 , dB		x_2 , dB		L_{Aeq} , dB
Sz_1	-	AND	alacsony	THEN	y_1
Sz_2	-		közepes		y_2
Sz_3	-		magas		y_3
Sz_4	alapjárt		alacsony		y_4
Sz_5	alapjárt		közepes		y_5
Sz_6	alapjárt		magas		y_6
Sz_7	alapj. + vent		alacsony		y_7
Sz_8	alapj. + vent		közepes		y_8
Sz_9	alapj. + vent		magas		y_9

Az összefüggések meghatározására a következtető modulon belül kerül sor, amely a bemeneteket és a szabálybázist összekapcsolva generálja a kimeneteket. Mamdani típusú következtető gép esetén fuzzy kimeneteket kapunk.

Jelen esetben a mért függő változó az utastérben mérhető egyenértékű hangnyomásszint (L_{Aeq} , dB). A kimeneti, szintén háromszög alakú tagsági függvények a 4. táblázatban láthatóak.

4. táblázat: A kimenet fuzzy halmazai

y_i	$\mu(y_i)$
y_1	{40, 47.2, 49.35}
y_2	{47.2, 49.35, 55.35}
y_3	{49.35, 55.35, 57.45}
y_4	{55.35, 57.45, 60.2}
y_5	{57.45, 60.2, 60.4}
y_6	{60.2, 60.4, 72.15}
y_7	{60.4, 72.15, 72.65}
y_8	{72.15, 72.65, 72.75}
y_9	{72.65, 72.75, 80}

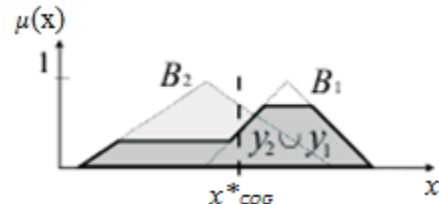
Ennek értelmezése azonban nehézkes. Így szükségessé válik az eredményként kapott tagsági függvények defuzzifikálása, melynek során jobban értékelhető, számszerűsíthető crisp értékeket kapunk. A konkrét kimenetek meghatározása többféle eljárással is megvalósítható. Nincs általánosan működő módszer, mindig vizsgálandó az adott alkalmazásra legjobban megfelelő technika, a helytelen defuzzifikáció ugyanis súlyos problémákat eredményezhet a rendszer működése során [13][14].

Jelen tanulmány keretein belül öt különböző módszer eredményeinek összehasonlításával keresem az optimális eljárást. Ezek a következők:

- COG,
- COA,

- MOM,
- LOM és
- SOM.

A súlyponti módszer (centroid eljárás, COG) esetén a kimeneti fuzzy halmazok súlypontjába kapjuk a defuzzifikált eredményt (lásd 5. ábra).



5. ábra: Defuzzifikáció súlyponti módszerrel [12]

A megfeleltethető crisp eredmény meghatározása diszkrét tagsági függvények esetén az (1), folytonosaknál pedig a (2) egyenlet alapján történik.

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu_A(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)} \quad (1)$$

$$x^* = \frac{\int x \cdot \mu_A(x) dx}{\int \mu_A(x) dx} \quad (2)$$

ahol $x_{(i)}$ adott elemet, $\mu_A(x_{(i)})$ a tagsági függvényt és n az elemek számát jelöli.

A területközpont módszer (biszektor eljárás, geometriai középpont, BOA, COA) az eredményként kapott tagsági függvény görbe alatti területének keressük a közepét, amelytől balra és jobbra is azonos nagyságú terület helyezkedik el. Meghatározása a (3) egyenlet szerint történik.

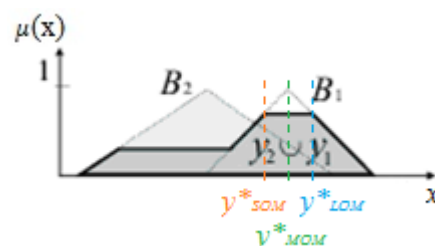
$$\int_{\alpha}^{x^*} \mu_A(x) dx = \int_{x^*}^{\beta} \mu_A(x) dx \quad (3)$$

ahol $\alpha = \min\{x|x \in X\}$ és

$$\beta = \max\{x|x \in X\}.$$

A maximum módszerekről általánosan elmondható, hogy a legnagyobb tagsági értéket vesszük figyelembe a defuzzifikált érték meghatározása során:

- MOM a középpontot,
- LOM a legnagyobb,
- SOM a legalacsonyabb maximumhoz tartozó értéket adja (lásd 6. ábra).



6. ábra: Defuzzifikáció maximum módszerekkel ([12] alapján)

A továbbiakban a fent ismertetett módszerek adott konkrét alkalmazásra való megfelelőségének a vizsgálata kerül bemutatásra.

3 EREDMÉNYEK

A 5. táblázat a vizsgálati pontok beállítását, eredményét, valamint a következő rendszer különböző defuzzifikációs eljárások esetén adott kimenetét egyaránt tartalmazza (1-9 sor).

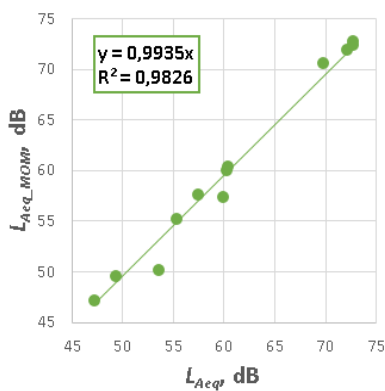
Megállapítható, hogy a súlyponti és a geometriai középpont módszerek esetén jelentős mértékű eltéréseket és fajlagos hibákat kapunk: -5,20...6,29% COG, 4,64...5,30% COA alkalmazásakor.

A maximum módszerek esetén azonban azonos nagyságú, megfelelően kicsi különbségek adódnak a beltérben kialakuló egyenértékű hangnyomásszint számítása esetén: -0,34...0,51%.

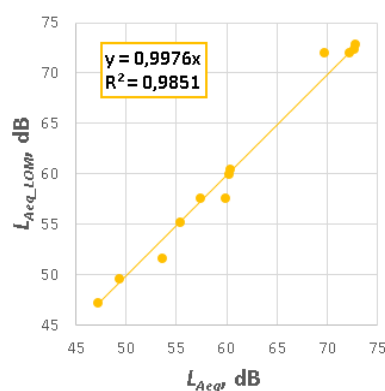
A három eljárás rangsorolására további konformáló mérések kerültek végrehajtásra (lásd ... táblázat 10-12 sora). Ezek az eredeti mérésorozatban nem szerepeltek, beállítási értékeiket a vizsgált technológiai tartományból választottam ki. Mivel már korábban beigazolódott, hogy a COG és COA defuzzifikációs technikák során tapasztalható a legjelentősebb mértékű pontatlanság, a konfirmáló mérések eredményei ezen módszerekkel már nem kerültek kiértékelésre.

5. táblázat: Eredmények

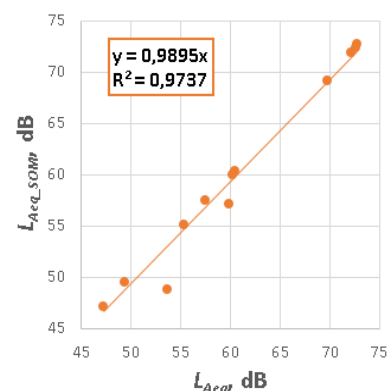
M. P.	x_1	x_2	L_{Aeq}	L_{Aeq_COG}	ΔL_{Aeq_COG}	L_{Aeq_COA}	ΔL_{Aeq_COA}	L_{Aeq_MOM}	ΔL_{Aeq_MOM}	L_{Aeq_LOM}	ΔL_{Aeq_LOM}	L_{Aeq_SOM}	ΔL_{Aeq_SOM}
	dB	dB	dB	dB	%	dB	%	dB	%	dB	%	dB	%
1	-	alacsony	47,2	45,5	-3,60	46,0	-2,54%	47,2	0,00	47,2	0,00	47,2	0,00
2	-	közepes	57,45	57,7	0,44	57,6	0,26%	57,6	0,26	57,6	0,26	57,6	0,26
3	-	magas	72,75	75,1	3,23	74,8	2,82%	72,8	0,07	72,8	0,07	72,8	0,07
4	alapj. árat	alacsony	49,35	50,6	2,53	50,4	2,13%	49,6	0,51	49,6	0,51	49,6	0,51
5	alapj. árat	közepes	60,2	59,3	-1,50	59,2	-1,66%	60,0	-0,33	60,0	-0,33	60,0	-0,33
6	alapj. árat	magas	72,65	72,4	-0,34	72,4	-0,34%	72,4	-0,34	72,4	-0,34	72,4	-0,34
7	alapj. + vent	alacsony	55,35	54,0	-2,44	54,4	-1,72%	55,2	-0,27	55,2	-0,27	55,2	-0,27
8	alapj. + vent	közepes	60,4	64,2	6,29	63,6	5,30%	60,4	0,00	60,4	0,00	60,4	0,00
9	alapj. + vent	magas	72,15	68,4	-5,20	68,8	-4,64%	72,0	-0,21	72,0	-0,21	72,0	-0,21
10	-	83,1	59,9					57,4	-4,17	57,6	-3,84	57,2	-4,51
11	alapj. árat	74,8	53,6					50,2	-6,34	51,6	-3,73	48,8	-8,96
12	alapj. + vent	91,7	69,7					70,6	1,29	72,0	3,30	69,2	-0,72



a.



b.



c.

7. ábra: Maximum módszerek pontossága

A 7. ábrán a maximum módszerek által adott eredmények a mért értékekre való illeszkedése látható (7./a. a MOM, 7./b. a LOM, 7./c. a SOM eljárásra vonatkozó). Megállapítható, hogy az értékek tökéletes egyezése (zéró eltérés) esetén amennyiben a 7. ábrához

hasonló módon a számított értékeket a mért értékek függvényében ábrázolnánk, az illesztett egyenes az identitás függvény lenne ($x = y$). Az ettől való eltérés mértéke minél kisebb, annál nagyobb pontosság érhető el az adott módszer alkalmazásával.

Megállapítható, hogy ugyan mindhárom vizsgált maximum eljárás megfelelő pontosságú becslést ad az utastérben kialakuló egyenértékű hangnyomásszintre, a legnagyobb pontosság mégis a LOM technika alkalmazásával érhető el.

4 KONKLÚZIÓ

Jelen tanulmány keretein belül léghangmérések eredményei kerültek bemutatásra. A vizsgálatok végrehajtása egy háromhengeres Otto motorral szerelt SKODA FABIA COMBI személygépjárművön történt.

A mérési elrendezésben a hangfalak a jármű két oldalán, a zajszintanalizátor a sofőr jobb fülének magasságában volt elhelyezve. A vizsgálózájként rózsazajt alkalmaztam.

A mérések során két bemenő paraméter volt, melyek három szinten kerültek beállításra: az utastérben mérhető, az üzemállapotból adódó hangnyomásszint, valamint a kívülről érkező, az ütközés kísérő hangjelenségének megfeleltethető gerjesztés. A független változók minden lehetséges kombinációja esetén rögzítésre került a beltérben kialakuló egyenértékű hangnyomásszint.

A mérési eredmények felhasználásával egy két bemenettel és egy kimenettel rendelkező Mamdani típusú FIS került megalkotásra az utastérben levő hangnyomásszint becslésére.

Végül öt különböző defuzzifikációs eljárás eredményei lettek összehasonlítva, a legjobb módszer kiválasztására.

A tanulmány során az alábbi következtetéseket sikerült levonni:

- Megállapítható, hogy a COG és COA módszerek esetén érhető el a legrosszabb pontosság, az eltérések -5,20...6,29% között mozognak COG és -4,64...5,30% között COA alkalmazásakor.
- Kijelenthető, hogy a három vizsgált maximum eljárás azonos, megfelelő pontosságú lehetőség az utastérben mérhető egyenértékű hangnyomásszint számítására a mérési pontok esetén, az eltérések nagysága -0,34...0,51%.
- A fuzzy modell alkalmazhatóságának vizsgálatára, valamint a maximum módszerek összehasonlítására további confirmáló mérések lettek végrehajtva.
- Az eredeti és a confirmáló mérések együttes kiértékelése alapján megállapítható, hogy a legnagyobb pontosság a LOM defuzzifikációs módszer esetén érhető el.

5 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

Külön köszönet illeti Szabó Dánielt, a Zajkontroll Kft munkatársát a mérések során nyújtott segítségéért.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Kolnhöfer-Derecskei, A., Reicher, R. Z., Szegegyi, 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] Schmedding, K. (2012) *Minor collisions*. Vieweg+Teubner Verlag. ISBN 978-3-8348-2006-8 DOI 10.1007/978-3-8348-2007-5
- [3] Schneider, S. (2005) "Hit -and-run" – or was the impact not perceptible?. *Verkehrsbund Ruhr-Rhein*, 6/2005.

- [4] Angelescu, A., Catalina, T., Vartires, A. (2017). Acoustic Measurements inside a Vehicle with Different Air Prototype Diffusers. *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, 14(1), 15.
- [5] Lukacs, J., Melegh, G. (2017). Sound Perception inside a Stationary Vehicle in Case of Frontal Audio Source. *Obuda University e-Bulletin*, 7(1), 57-61.
- [6] Központi Statisztikai Hivatal adatbázisa (2015)
- [7] ISO 5128-1980 (1980) Measurement of Noise inside Motor Vehicles.
- [8] Kyon, D. H. et al.: Hi-pass Pink Noise: Its Acoustic Features and Standard Volume. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 8(6), 229-236. (2013)
- [9] Aradi P. et al. (2014). Számítógépes szimuláció. TÁMOP-4.1.2
- [10] Zadeh, L. A. (1965). Information and control. *Fuzzy sets*, 8(3), 338-353.
- [11] Tóth-Laufer, E., Horváth, R. (2017). Fuzzy model based surface roughness prediction of fine turning. *FME Transactions*, 45(1), 181-188.
- [12] Kóczy, L. T., Tikk, D. (2000). Fuzzy rendszerek. TypoTEX, Budapest.
- [13] Mogharreban, N., Dilalla, L. F. (2006, June). Comparison of defuzzification techniques for analysis of non-interval data. In *NAFIPS 2006-2006 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society* (pp. 257-260). IEEE.
- [14] Saade, J. J., Diab, H. B. (2004). Defuzzification methods and new techniques for fuzzy controllers.