

Zajdiagnosztikában rejlő lehetőségek felhasználása jármű fedélzeti diagnosztikában

Utilizing the potential of noise diagnostics in vehicle on-board diagnostics

ŐRI Péter*, Prof. Dr. habil LAKATOS István

Széchenyi István University, Győr, Hungary

* lakatos@sze.hu

Abstract

Noise diagnostics is a very common and proven method in the industry to determine the lifetime and maintenance needs of machines. Typically, a component is critical to the operation of the machine, but its service life cannot be determined precisely. Maintenance based on operating time or mileage is increasingly being replaced by on-demand maintenance, which is more economically and environmentally friendly. Vehicles are also being equipped with more and more monitoring sensors to give control units a more accurate picture of the condition of the components. Electronic self-diagnostics have been developed for electronic components, but the detection of mechanical failures during operation is still a problem. In our research, we examine the methods and tools that can be used to supplement on-board diagnostics with noise measurement.

Keywords: noise diagnostics, noise, vibration, drive chain, microphone, on-board diagnostics

Kivonat

A zajdiagnosztika az iparban nagyon elterjedt és bevált módszer a gépek élettartamának és karbantartási szükségletének megállapítására. Jellemző, hogy egy-egy alkatrész kritikus a gép működését tekintve, de élettartama nem határozható meg pontosan. Az üzemidő vagy futásteljesítmény szerinti karbantartást egyre inkább felváltja az igény szerinti karbantartás, ami gazdaságilag és a környezet szempontjából is kedvezőbb. A járműveket is egyre több felügyelő érzékelővel látják el, hogy az alkatrészek állapotáról pontosabb képet kapjanak a vezérlőegységek. Az elektronikai alkatrészekhez megfelelő elektronikus öndiagnosztika épült ki, viszont a mechanikus meghibásodások feltárása menet közben még mindig problémába ütközik. A kutatásunk során azt vizsgáljuk, hogy – főleg az önvezető autók előkapujában – milyen módszerekkel és eszközökkel lehet a fedélzeti diagnosztikát zajméréssel kiegészíteni.

Kulcsszavak: zajdiagnosztika, zaj, rezgés, hajtáslánc, mikrofon, fedélzeti diagnosztika

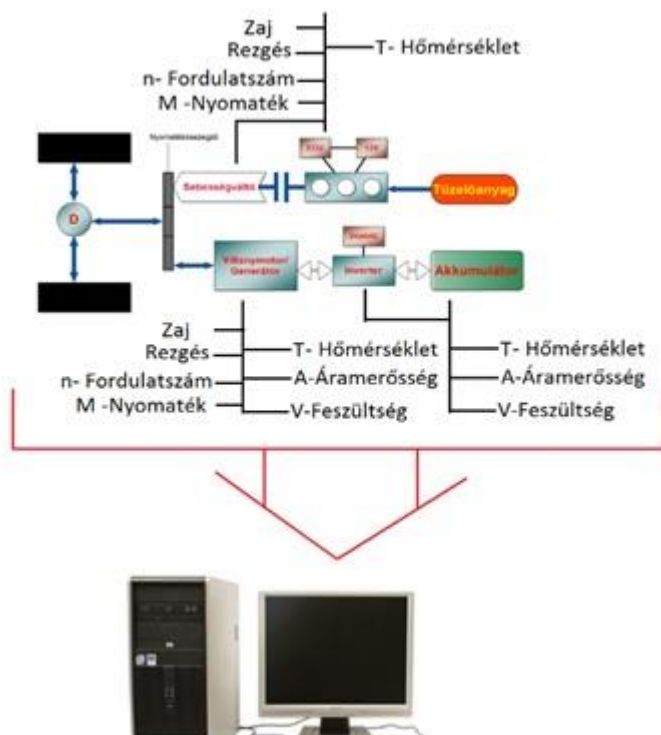
1. BEVEZETÉS

A kutatási munkát a vizsgálni kívánt járműtípusok kiválasztásával kezdtük. Elektromos és hibrid járműveket választottunk ki, mivel eladási számuk nagymértékben növekszik, halkabb üzemeltetésük pedig jobban felismerhetővé teszi a meghibásodásokat. A hibrid járművek megbízhatóságának vizsgálatára egy kérdőívet készítettünk, melyet magyar és külföldi márkaszervizek is kitöltöttek. A kérdőívre adott válaszok alapján leginkább azok a kopó vagy a belső égésű motoros járművekben is megtalálható alkatrészek mennek tönkre, melyek vizsgálata nem kizárólag az elektromos és hibrid járművek sajátosságai, ezért is terjesztettük ki a vizsgálatokat hajtáslánc-függetlenné.

2. HIBRID ÉS ELEKTROMOS JÁRMŰVEK HAJTÁSLÁNCAINAK GYAKORI MEGHIBÁSODÁSAI

Az elektromos és hibrid járművek akusztikai vizsgálata során először meg kell ismerni a gyakori meghibásodási lehetőségeket, hogy a mérések során valós problémákra koncentrálhassunk. Ehhez egy kérdőívet állítottunk össze, amelyben 50 magyar és 50 német márkaszervizt kérdeztünk meg az elektromos és hibrid járművekkel kapcsolatos gyakorlati tapasztalatokról.

A hajtáslánccal kapcsolatosan kevés meghibásodási tapasztalatról számoltak be a márkaszervizek. Legfőképp a kopó alkatrészek cseréje gyakori az elektromos hajtáslánccban. Hibrid járművek esetén a belső égésű motorok jelentik a fő hibaforrást, így azok vizsgálatára érdemes hardveres és szoftveres eszközöket fejleszteni.



1. ábra Mérési lehetőségek hibrid járműveken

3. AZ ÖNDIAGNOSZTIKAI LEHETŐSÉGEK ALAPJA

A zajmérés nagy előnye, hogy úgynevezett „contactless” vagyis érintés nélküli vizsgálatot tesz lehetővé. Nem kell a nehezen hozzáférhető alkatrésze csatlakozni, nem szükséges azt kiszerezni és nem jár semmilyen roncsolással a mérés kivitelezése, ellentétben például az emissziós vizsgálatokkal [1].

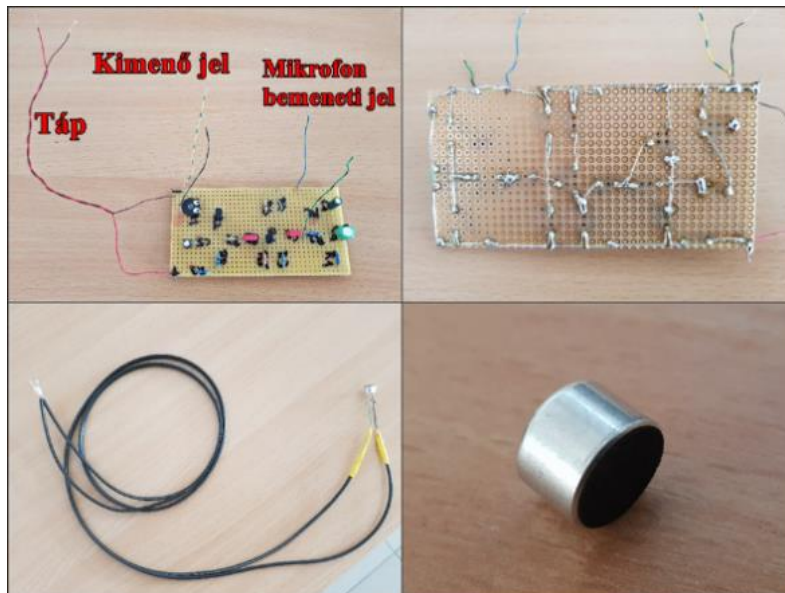
Bohn kutatásaiban a motor-fogaskerék hajtómű-forgattyús hajtómű kapcsolatát vizsgálta. Bizonyította, hogy a komplexum testhangjának amplitúdója és frekvenciája az olajfilm tulajdonságaitól is függ [2].

Jindal kutatásaiból kiderül, hogy a különböző üzemanyagok fajtája is befolyással van a motorok rezgésjellemzőire [3].

A gépjárművekben az alkatrészek nagyrésze valamilyen forgó vagy alternáló mozgást végez, tehát működésükben periodikusság figyelhető meg. A zajmérésből kapott, valamilyen ismétlődést mutató jelek így társíthatók az adott alkatrészhöz. A hajtáslánccban számos olyan hibalehetőség rejlik, ami a szokásostól eltérő zajkibocsátást eredményez. Ezek közül felsorolunk néhány példát: kiegyensúlyozatlanság, excentricitás, tengelygörbülés, tengelykapcsoló-hiba, siklócsapágyak túlzott kopása, kenéshiány, gördülőelemes csapágyak hibái, hajtómű-meghibásodások, fogaskerék-problémák, lánchajtások hibái, szíjhajtások hibái, szivattyú-meghibásodások, ventilátor-problémák, villamos gépek hibái, rezonancia jelenségek, folyadékok és gázok áramlásával kapcsolatos problémák. A járművek egyre növekvő automatizáltsága mellett kiemelt fontosságú a fedélzeti diagnosztika fejlesztése [4].

Ha öndiagnosztikáról beszélünk, akkor nagy sorozatgyártásban alkalmazható, gazdaságos eszközök alkalmazására kell fókuszálni. Az akusztikai vizsgálatoknál az első feladat a mikrofon és a mérőrendszer kiválasztása [5]. Így esett a választásunk egy egyszerű kondenzátormikrofonra, melyhez az erősítőt magunk készítettük el [6,7] (2. ábra).

A mérés célja az volt, hogy a gazdaságos rendszerrel hibát detektáljunk, így a járművekben széria felszerelésként az akusztikai öndiagnosztika funkció alkalmazhatóságát vizsgáljuk.



2. ábra A saját készítésű erősítő és a kondenzátor mikrofon

Az első méréseket teljesítménymérő görgős padon végeztük el. A mikrofont a járművön kívül helyeztük el, hogy közvetlenül a generált hiba közelében tudjunk mérni. Ezzel az üzem közbeni mérés két zavaró tényezőjét ki tudtuk szűrni: a szélzajt és a karosszéria szigetelés okozta zajcsökkenést [8,9]. Természetesen a görgők újabb zajforrást visznek a mérésbe, viszont a fordulatszámok ismerete miatt az abból adódó zajok és mérési csúcsok kiszűrhetők [10].

4. A GAZDASÁGOS MIKROFONNAL VÉGZETT MÉRÉSEK ELLENŐRZÉSE

A méréseket a saját fejlesztésű, gazdaságos mérőrendszerrel végeztük, és az eredményeket egy Pico NVH típusú műszerrel ellenőriztük. Ennek révén azt szeretnénk volna megtudni, hogy milyen érzékenységi különbségek vannak az öndiagnosztikai mérésekre alkalmazható kondenzátor mikrofon és egy professzionális NVH-kit között.

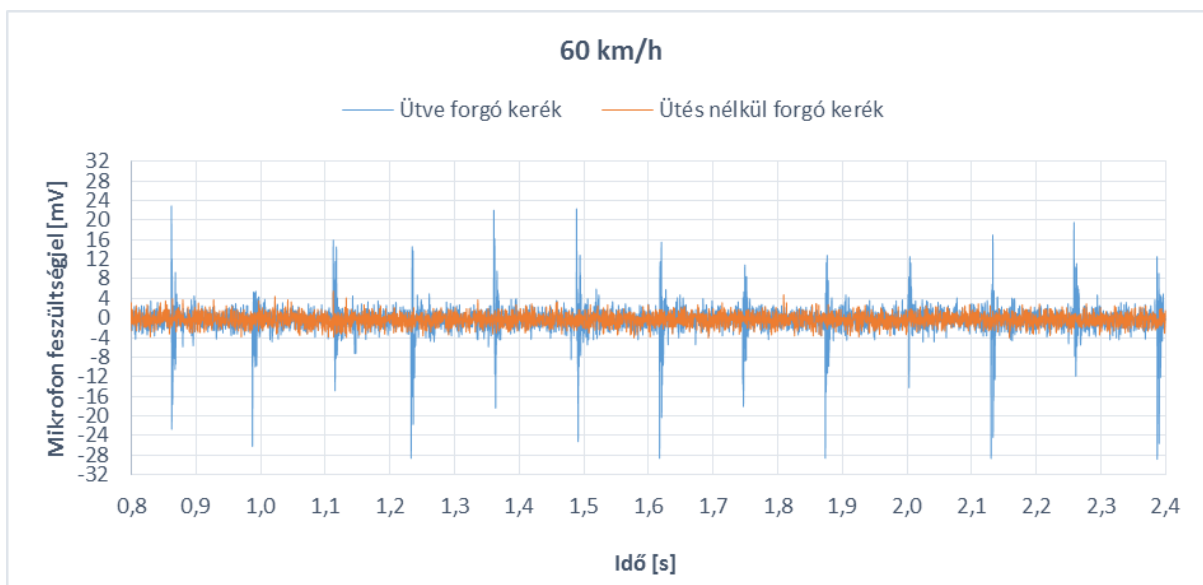
A méréshez az alábbi eszközöket használtuk fel:

- Görgős járműfékpad
- Járművet rögzítő heveder
- Kondenzátormikrofon
- Saját készítésű mikrofon előerősítő áramkör
- Árnyékolt kábelek
- MATRIX MPS-3005L-3 labortáp
- HAMEG HMO1024 digitális oszcilloszkóp
- Pendrive (a mért adatok rögzítési helye)
- Pico NVH kit

Az első mérések pozitív eredményt mutattak, mivel a mikrofon erősítőjének kimenetén jól kivehető amplitúdóként jelentkezett a mesterséges hiba. Állandó menetsebesség tartása mellett végeztünk méréseket, hogy a fordulatszám ingadozás okozta frekvenciaváltozás ne nehezítse a kiértékelést (4. ábra). Az elemzés célja megfigyelni a kondenzátormikrofon feszültségjeleit a hibamentes és hibás üzemiállapotban. A 4. ábrán jól láthatók a kék görbe kiugró feszültségcsúcsjai.

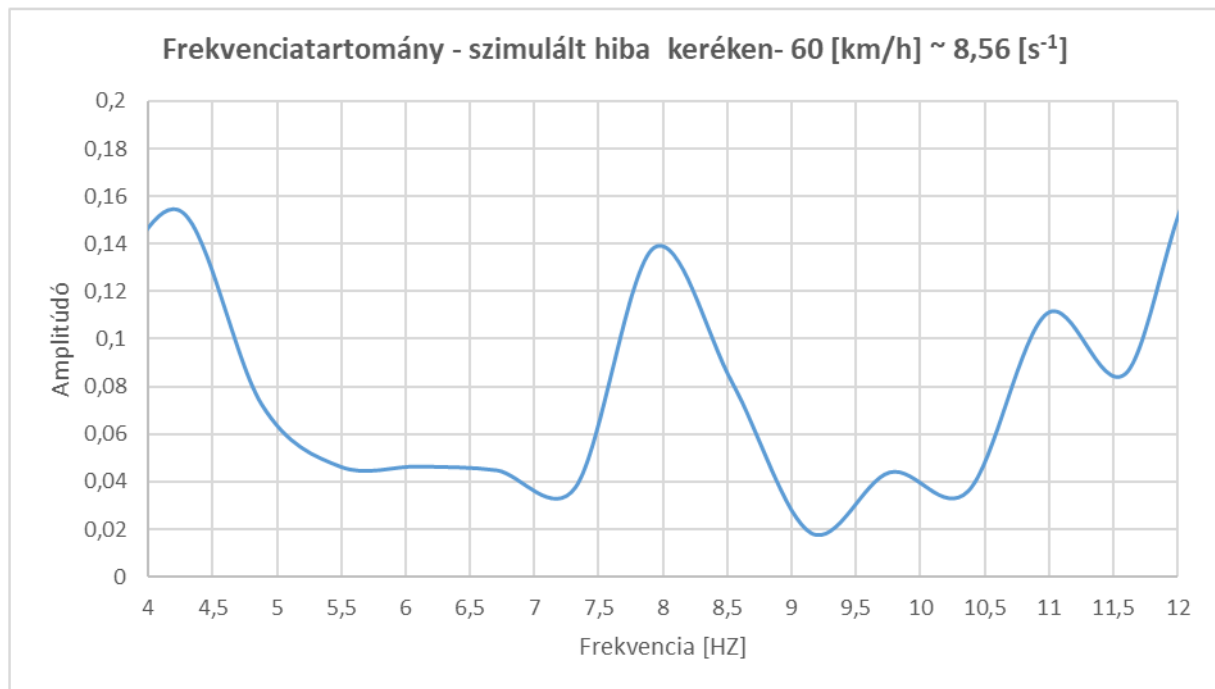
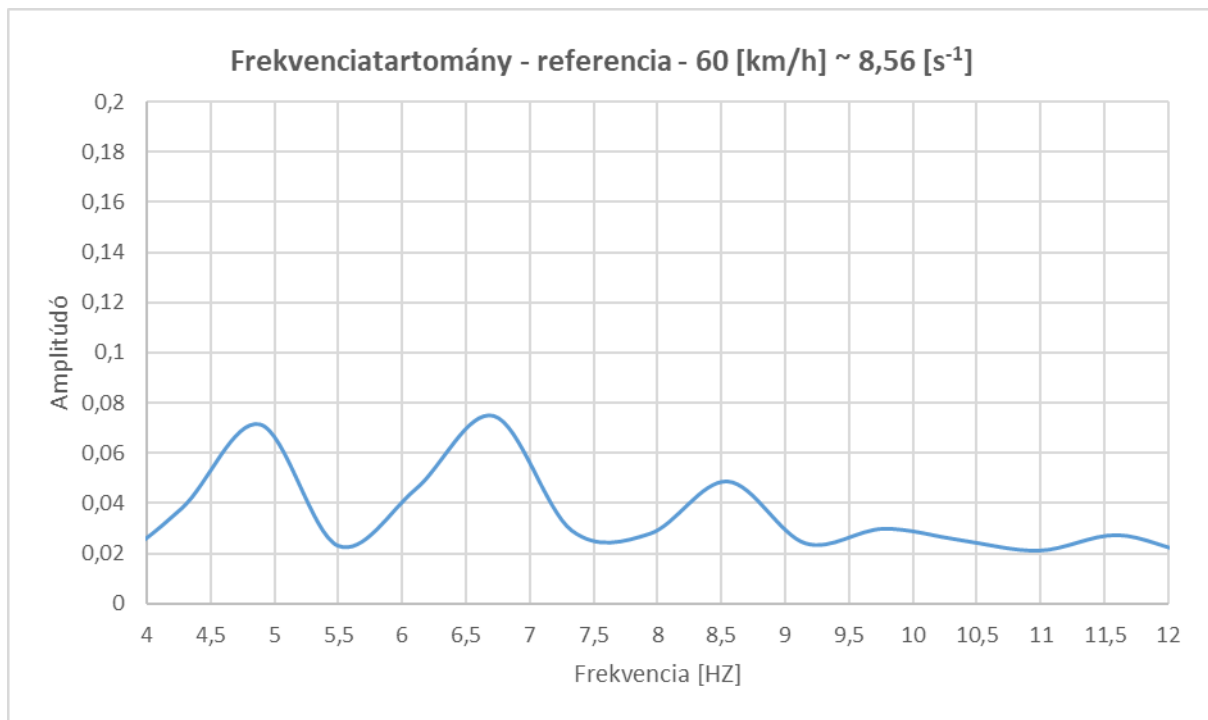


3. ábra A mérőadatgyűjtő rendszer a saját fejlesztésű, gazdaságos mikrofonhoz.



4. ábra Görgős pad mérés 60 km/h-val, hibával és hiba nélkül, időtartományban

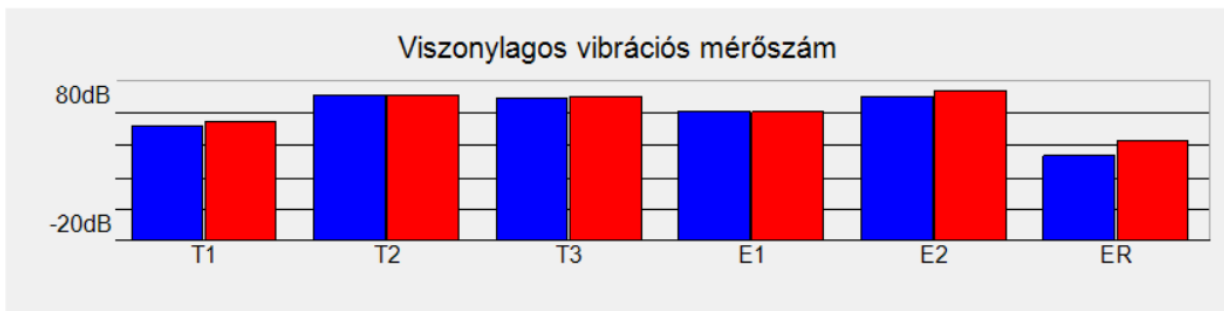
A periodikus mozgás miatt az adatahalmazt FFT-analízisnek vetettük alá, hogy a zajforrást frekvenciatartományban is megvizsgálhassuk. A jellemző frekvencia meghatározása segít a zajforrás azonosításában, hiszen a periodikus mozgást végző alkatrészek fordulatszámából meghatározott alap frekvenciát és felharmonikusait össze tudjuk vetni a mérés során tapasztalt zaj frekvencia komponenseivel.



5. ábra: Görgős padi mérés 60 km/h-val, hibával és hiba nélkül, frekvenciatartományban

Amikor a mérést két darab ipari, kívül elhelyezett mikrofonnal végeztük, szintén megfigyelhetővé vált a leragasztott, ezáltal radiális ütessel forgó kerék hatása. A 6. és 7. ábrán látható ezen mérések eredménye. A 6. ábra a referencia mérés, a 7. ábrán pedig a radiális ütessel forgó kerékkel végzett mérés eredményei láthatóak. Mindegyik mérésnél két mikrofont használtunk. A Pico NVH szoftver egy OBD-csatlakozón keresztül tudta mérni a jármű keréksebességét és a motor fordulatszámát, így a frekvencia-tartománybeli vizsgálatoknál rögtön ki tudja venni az abronchhoz és a motorhoz tartozó frekvencia értékeket. Jól látható, hogy a hiba nélküli állapotban a motorzaj erősebb volt a kerékzajnál, majd a hiba fennállásakor a kerékzaj 16-17 dB-lel erősödött, zajosabb lett, mint a motor.

Rezgésjelentés



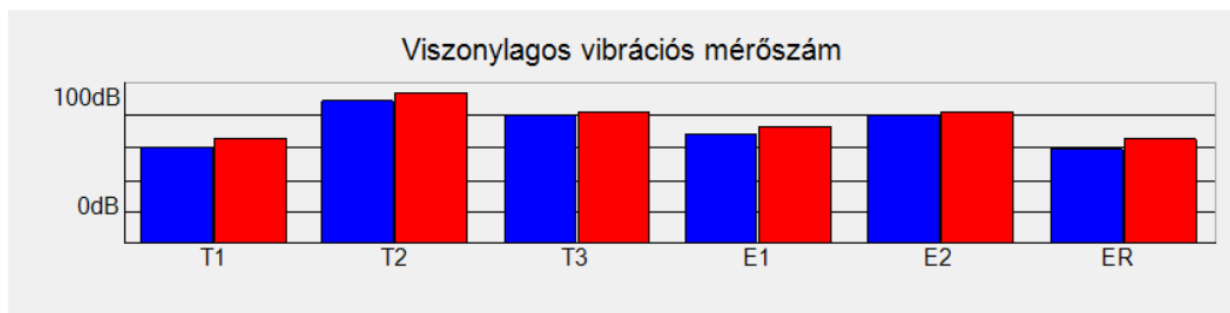
Vibráció	Frekvencia	ChA	ChB
Abronszrezgés (1)	12,0 Hz	54,6 dB	57,3 dB
Abronszrezgés (2)	24,0 Hz	77,6 dB	78,3 dB
Abronszrezgés (3)	36,0 Hz	75,5 dB	76,8 dB
Motorfordulatszám (1)	20,2 Hz	65,2 dB	65,8 dB
Motorfordulatszám (2)	40,4 Hz	76,6 dB	80,8 dB
Egyéni rezgés (1)	100,0 Hz	33,4 dB	43,4 dB

Csatorna A: TA144 Mikrofon

Csatorna B: TA144 Mikrofon

6. ábra: Görgős padí mérés hiba nélkül, frekvenciatartományban – Pico NVH kit

Rezgésjelentés



Vibráció	Frekvencia	ChA	ChB
Abronszrezgés (1)	11,7 Hz	50,5 dB	58,1 dB
Abronszrezgés (2)	23,4 Hz	89,9 dB	95,9 dB
Abronszrezgés (3)	35,1 Hz	76,7 dB	81,6 dB
Motorfordulatszám (1)	28,5 Hz	61,2 dB	67,9 dB
Motorfordulatszám (2)	57,0 Hz	77,0 dB	80,1 dB
Egyéni rezgés (1)	100,0 Hz	49,3 dB	58,0 dB

Csatorna A: TA144 Mikrofon

Csatorna B: TA144 Mikrofon

7. ábra: Görgős padí mérés hibával, frekvenciatartományban – Pico NVH kit

5. MÉRÉSEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A kiértékelést a kerékfordulatszám kiszámításával kezdtük, amely a következő módon határozható meg: $n = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$, ahol $\omega = \frac{v}{r}$, v a kerületi sebesség, r pedig a kerék gördülési sugara.

A méréshez használt Toyota Prius esetében $r = 310,15\text{mm}$, a mérés közben $v = 30\text{ km/h}$, tehát $n = 256,58$ fordulat/perc. 60 km/h sebességnél ez értelemszerűen a kétszerese, $513,16$ fordulat/percenként. A hiba már az idő-feszültség függvényből is látszott, mivel közvetlenül a kerék mellett mérve a többi zajkeltő tényező, mint a motorzaj, elenyésző volt.

Mivel a Pico mérésfrekvencia függvényénél az y tengely értékei dB-ben, hangnyomásban vannak megadva, itt viszont feszültségjelként, vagy amplitúdóként szerepel, ezért a következő képlet használata szükséges az átszámításhoz:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0},$$

ahol $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$. Ezt az egyenletet az alábbiak szerint rendezve:

$$\frac{p}{p_0} = 10^{\frac{L_p}{20}}$$

A maximum és a minimum pontok hányadával össze lehet hasonlítani a két mérési eredményt, mivel a hangnyomás és a feszültségjel arányosak egymással.

A programból pontosan kiolvasható, hogy ütés nélkül forgó kerék esetén, 60 km/h-nál a maximális hangnyomás 78,9 dB, a minimális pedig 15,8 dB. Átszámítva, tehát:

$$\frac{p}{20 * 10^{-6}} = 10^{\frac{78,9}{20}}$$

$$p = 0,17621 \text{ Pa};$$

$$\frac{p}{20 * 10^{-6}} = 10^{\frac{15,8}{20}}$$

$$p = 0,000123 \text{ Pa}$$

Radiális ütessel történő mérés esetén a maximális hangnyomás értéke 87 dB, a minimális pedig 20,2 dB, így:

$$\frac{p}{20 * 10^{-6}} = 10^{\frac{87}{20}}$$

$$p = 0,44774 \text{ Pa};$$

$$\frac{p}{20 * 10^{-6}} = 10^{\frac{20,2}{20}}$$

$$p = 0,000205 \text{ Pa}$$

Az összehasonlítást a feszültségfüggvényekkel végeztük el. Az első mérésből adódó feszültség adatokból kerestük ki a minimum és maximum értékeket, majd ezeknek vettük az arányát. Az új mérés feszültségadatait, pedig egy másik fájlba konvertáltuk (természetesen az adott sebességen és közel azonos fordulatszámra), és hasonlóképpen elvégeztük a fent leírt műveleteket. Az így kapott eredmények összehasonlíthatók lettek. Az eredményeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

Feszültség- és nyomásjelek összehasonlítása

1. táblázat

60 km/h	Max.	Min.	Arány
Feszültség, radiális ütés, Pico nélkül	22,34 mV	0,137 mV	163,18
Feszültség, radiális ütés nélkül, Pico nélkül	5,537 mV	0,137 mV	40,45
Nyomás, radiális ütés, Pico-val	11,11 Pa	0,0047 Pa	2340,48
Nyomás, radiális ütés nélkül, Pico-val	8,3199 Pa	0,0047 Pa	1752,55

Látható a két mikrofon érzékenysége közötti különbség. Az adathalmazban az is észrevehető, hogy míg a PicoDiagnostics 50 kHz mérési frekvenciával rögzítette az egyes nyomásjeleket, addig az oszcilloszkóp csak 2,5 kHz frekvenciával jegyezte le a feszültségjeleket, tehát jóval kevesebb adat került rögzítésre. A Shannon mintavételezési törvény alapján a gazdaságos mikrofon összeállítás csak az 1250 Hz frekvencia alatti komponensek észlelésére alkalmas.

6. KÜLSŐ HATÁSOK VIZSGÁLATA

A referenciamérésekhez alkalmazott ipari mikrofon készlettel további méréseket végeztünk, ahol azt vizsgáltuk, hogy a mikrofon utastérben belüli és kívüli elhelyezése között milyen jelszint különbségeket tapasztalunk. Az utastér körüli szigetelés és a menet közben felmerülő külső zajok okozta zavarás felmérése volt a célunk. Ezen vizsgálatokat valós környezetben, mozgó járművel célszerű elvégezni, mivel a szélzajt csak így lehet figyelembe venni a mérés során. A korábbi mérésekhez alkalmazott járművel forgalmi méréseket nem végezhetünk, ezért másik járművön tudtuk a vizsgálatokat folytatni.

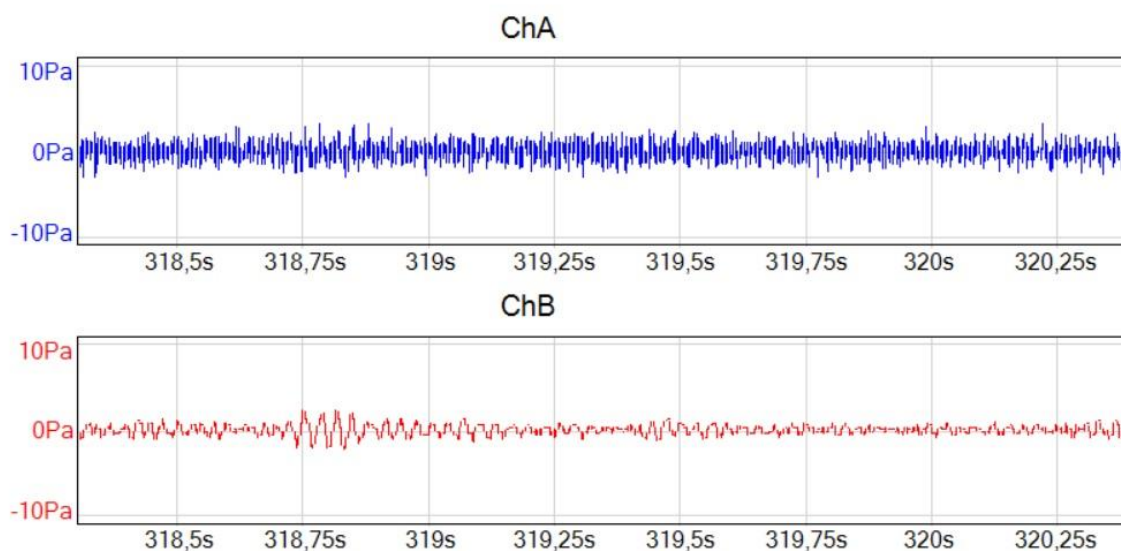
Az elektromos hajtás kis alapzajszintje a kezdeti méréseknél könnyebbé teszi a feladatot, mivel a két mérés közötti különbség jobban megfigyelhető.



8. ábra Ipari mikrofon elhelyezése az utastérben

A 9. ábra mutatja a mikrofon elhelyezések közötti különbséget. A kívül elhelyezett mikrofon a motorháztető alatt kapott helyet, hogy valamelyest védve legyen a menetszélről, és így közelebb kerülhet a hajtáslánchoz.

Rezgésjelentés



Csatorna A: TA144 Mikrofon

Csatorna B: TA144 Mikrofon

Hely: Motortér

Hely: Utasfülke

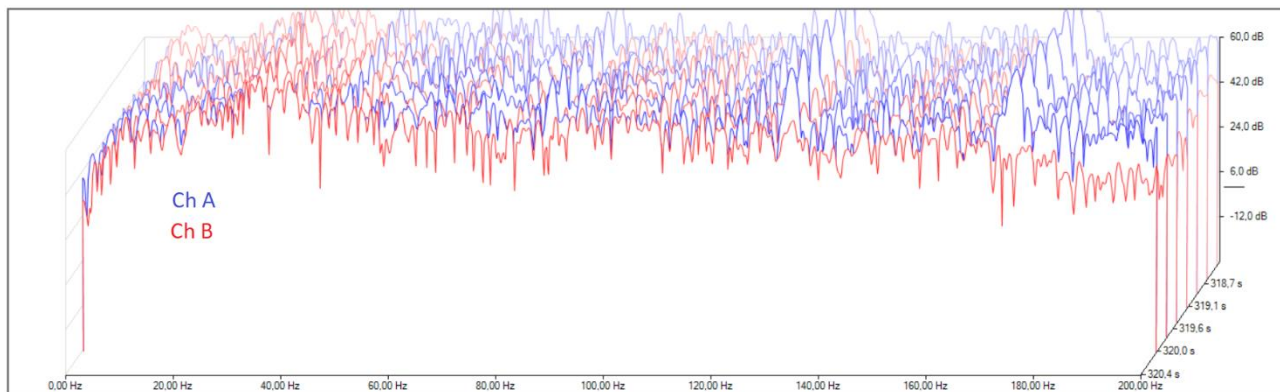
Megjegyzések:

Megjegyzések:

9. ábra Az utastérben és a motorháztető alatt elhelyezett mikrofonnal végzett mérések közötti különbség

A kék görbe jelöli a motortérben elhelyezett mikrofon jelét, a piros pedig az utastérben mért zaj. Az időtartományban mutatott jelekből jól kivehető, hogy a motortérben az elektromos hajtás nagyfrekvenciás zajt generál, amit az utastérben már nem érezni a szigetelés miatt. A kisfrekvenciás zajok bejutnak az utastérbe, a futómű által átvitt rezgések eljutnak a karosszériára a csatlakozó pontokon keresztül. A kivett mérési részletben nem volt úthiba, így csak a menetszél, a gördülési zaj és a hajtáslánc volt releváns.

A 10. ábrán egyszerre tudjuk idő- és frekvenciatartományban vizsgálni a zajokat. Itt jól látható, hogy a nagy frekvenciás zajok esetében a kék görbék nagyobb amplitúdót mutatnak, ráadásul a forgó gép és a kerék fordulatszámának megfelelő frekvenciákon lokális csúcsok is láthatók.

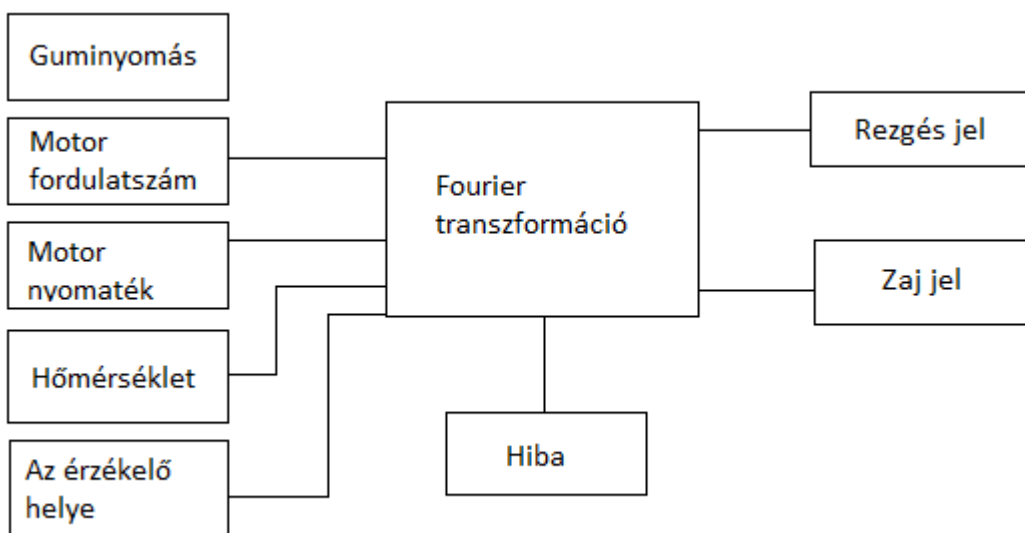


10. ábra: Az utastérben és a motorháztető alatt elhelyezett mikrofonnal végzett mérések kiértékelése idő- és frekvenciatartományban

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eddigi mérések alapján akár kis költségű mikrofonnal is lehet detektálni hibákat a jármű haladása közben, ami lehetőséget ad a fedélzeti diagnosztikába való bekötésre.

A mikrofon elhelyezésének vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy az utastérben elhelyezett mikrofon a jármű szigetelése ellenére is jól felhasználható, az utastéren kívüli mérések pedig a szélzaj miatt körülményesek.



11. ábra: A mérőrendszer és a hozzá tartozó hatások, zavarások.

További mérések elvégzése szükséges, hogy a mikrofonok számának és elhelyezésének hatását is elemezni tudjuk. Feltételezzük, hogy több mikrofonnal a zajforrás helye jobban detektálható, valamint a mikrofonok elhelyezése fontos szerepet játszik egy-egy hiba észlelésében. A közúton végzett

referenciamérések segítenek az alap zajszint meghatározásához, ami a jármű normál működését jellemzi, illetve a külső zajforrások, lehetséges zavaró zajok felismerésében.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Zöldy M, Török Á: A forgalomba belépő gépjárművek többlet károsanyag kibocsátásának számítása a nemzetközi határértékek figyelembevételével, Közlekedéstudományi Szemle 55 pp. 336-339, 4 p. (2005)
- [2] Bohn, P.: Wechselwirkungen von Schwingungen zwischen Motor-Getriebe-Verbund und Kurbeltrieb als Grundlage für Körperschallanalysen, „PhD disszertáció”: Technische Universität Berlin, V - Verkehrs- und Maschinensysteme, 2006.
- [3] Jindal, S.: Vibration signatures of a biodiesel fueled CI engine and effect of engine parameters. International Journal of Energy & Environment, 3. kötet, 1. kiadás, 151-160. oldal, 2012.
- [4] Derenda T, Zanne M, Zöldy M, Török Á (2018): Automatization in road transport: a review, Production Engineering Archives 20 : 20 pp. 3-7. , 4 p. <https://doi.org/10.30657/pea.2018.20.01>
- [5] Van Riesen D., Schlensok C., Henrotte F., Hameyer K.: “Acoustic measurement for detecting manufacturing faults in electrical machines”, 17th International Conference on Electrical Machines ICEM, (2006)
- [6] Dr. Bánlaki P.: Gépjármű hajtáslánc fődarabok rezgés- és zajdiagnosztikai végellenőrző rendszereinek továbbfejlesztése „PhD disszertáció”: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, 2014.
- [7] ÓRI Péter, Prof. Dr. habil LAKATOS István: Kis költségű mikrofon alkalmazási lehetőségei akusztikai öndiagnosztikára (2019)
- [8] Verma S. P.: “Noise and vibrations of electrical machines and drives; their production and means of reduction”, International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, Vol. 2, pp.1031,
- [9] M. Janda, O. Vitek, M. Salka: Noise diagnostic of induction machine - The XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010
- [10] Byoung-Hoo Rho, Dae-Gon Kim & Kyung-Woong Kim: Noise Analysis of Cylindrical Roller Bearings Operating Under Zero External Load