

# Elektromos jármű hajtásláncának rezgésdiagnosztikája

## Vibration diagnostics of electric drivetrains

*PATHY-NAGY Zoltán, DÖMÖTÖR Ferenc, dr. ZÖLDY Máté*

Department of Automotive Technologies, BME Budapest University of Technology and Economics  
1111 Budapest, Sztoczek u. 6. J. épület V. emelet, Telefon: +36-1/463-1615, Budapest, Hungary

[mate.zoldy@gjt.bme.hu](mailto:mate.zoldy@gjt.bme.hu)

[www.gjt.bme.hu](http://www.gjt.bme.hu)

### Kivonat

*Az utóbbi évtizedek egyik nagy autóiipari változása az elektromos hajtásláncok előretörése. Ezek fejlesztésében és felhasználásában sok nyitott kérdés található még. A belsőégésű motorokról való – legalább részleges – áttérés során a diagnosztikai rendszereknek is alkalmazkodnia kell az új technológiákhoz. A rezgésdiagnosztika eszközeit a hagyományos hajtáslánccal szerelt járművekben sikeresen alkalmazzák. Alaputatásunkban azt vizsgáljuk, hogy egy elektromos jármű vizsgálata során az elérhető rezgésdiagnosztikai rendszerek mely alkatrészekkel kapcsolatos mérések elvégzésre alkalmasak.*

**Kulcsszavak:** elektromos jármű, rezgésdiagnosztika

### Abstract

*One of the big trends in the automotive industry in recent decades is the advancement of electric drivetrains. There are many open questions in the development and use of these. Diagnostic systems also need to be adapted to new technologies as they move from internal combustion engines, at least in part. Vibration diagnostic tools have been successfully used in conventional powertrain vehicles. In our basic research we investigated which parts of the available vibration diagnostic systems are suitable for performing measurements on an electric vehicle.*

## 1. BEVEZETÉS

A globális fölmelegedés elleni küzdelem egyik színtere a közlekedésben alkalmazott hajtásláncok átalakítása. Ez a folyamat megkezdődött az ezredforduló táján a downsizing jelenséggel, majd folytatódott a hibrid járművek térnyerésével és a dízel-utánkezelő technológiák fejlődésével [1]. Manapság az egyik legújabb és legnagyobb ütemben előretörő trend pedig a járművek, különösen a városban használt személyautók hajtásláncának elektromotorral való ellátása [2]. Az egyre nagyobb darabszámban köztünk lévő elektromos hajtású járművek nem csak alkalmazás technikában, hanem diagnosztikában is megkívánnak új megközelítéseket, illetve a régiek újra gondolását.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Több elektromos jármű fut az utakon, mint valaha. A trendelemzések az elektromos, és a részben elektromos hajtással rendelkező hibrid járművek előre törését jövendölik, különösen a városi autók szegmensében. Jelenleg úgy tűnik, hogy a sokáig kizárólagos megoldásnak tekintett alternatív üzemanyagok, még speciális keverékekben alkalmazva [3,4,5] sem biztos, hogy elegendőek a közlekedés CO<sub>2</sub> lábnyomának [6] csökkentésére. Az elektromos járművek elterjedésének egyik fő hajtóereje az, hogy ezek használat közbeni, lokális kibocsátása zérus, de az áram-mix összetételétől függő, használat közbeni kibocsátásuk is alatta marad a legjobb dízeljárműveknek [7]. Az autógyárakat pedig a flottakibocsátási előírások ezen kibocsátások minimalizálására szorítják, így ahhoz, hogy az értékesített flotta 95%-nak kibocsátási átlagra 2020-ban a 95 g CO<sub>2</sub>/km előírást tartani tudják, növelni kell az eladott elektromos hajtásláncú járművek részarányát. A teljes életciklust, azaz a gyártási,

használati és újrafeldolgozási kibocsátásokat egyben kezelő számítások azt mutatják, hogy az európai átlagos energiamixből készült árammal hajtott villanyautók élelciklus alatti széndioxid kibocsátása egy szinten van a legmodernebb dízelmotorokkal. Az elektromos járművek növekvő piaci részaránya kiköveteli a kapcsolódó iparágak, illetve a töltőpontok rendszeres hatósági felülvizsgálat és karbantartás átalakulását is.

A rezgésdiagnosztika régóta ismert és alkalmazott a járműiparban, a hajtásláncok vizsgálatánál [8]. A járművek hajtásláncainak rezgés-és zajdiagnosztikai vizsgálatai és elemzései mind a használat közben, mind a fejlesztési folyamatban roncsolásmentes módon biztosítanak fontos eredményeket. Elvégzésüknek oka lehet zaj,- és rezgésforrások felderítése, a zaj,- és rezgésszint későbbi csökkentése érdekében, a vezető, az utasok és a környezet zajterhelésének mérséklésére, komfortérzetük növelésére. Alkalmazzák a rezgésdiagnosztikát a hajtáslánc, ill. a belsőégésűmotor fejlesztése során az abban lejátszódó belső folyamatok követésére, a konstrukciók tovább javítása céljából. Feladatuk lehet a hajtáslánc állapotának monitorozása üzemelés közben, hogy a megbízhatóságról, élettartamról illetve az állapotfüggő karbantartáshoz gyűjtsön adatokat. Alkalmazható a hajtáslánc, ill. a motor javítása, karbantartása során diagnosztikai és állapotellenőrzési céllal és az egyes hajtáslánc elemek, illetve a teljes hajtáslánc rendszergyártórsori minőségellenőrzéséhez, minőségbiztosításához [9].

Mind a hidegtesztek, mind a meleg tesztek során a rezgésdiagnosztikai eljárások alkalmasak a hibák kimutatására. Hidegtesztek során a motor üzemi működése nem kelt rezgéseket. Így a módszerrel olyan hibák is kimutathatóak, amelyeket működő motor égési zaja mellett nem lehetséges kimutatni. Melegtesztek alkalmazása esetén a rezgésdiagnosztikai eljárásokat megnehezíti a belsőégésű motor üzemi működésének zaj-és rezgéshatása [10]. Előnye viszont ennek a vizsgálatnak, hogy a motor valódi működési körülmények között vizsgálható, ami üzemi szempontból valóságghú hibák kimutatását teszi lehetővé [11]. A melegtesztek során végzett rezgésdiagnosztikai vizsgálatoknál két nehézséget okozó tényezőt kell említeni. Az egyik az, hogy a motor saját, erős működési rezgései és zaja mellett ki kell mérni és analizálni az esetleges hibákhoz kapcsolódó, sokkal kisebb nagyságú diagnosztikai jeleket. A másik pedig, hogy az üzemi tesztek végzése közben a motor fordulatszámja, ha kis mértékben is, de ingadozik, ami a módszerek finomhangolást teszi szükségessé [12].

### **3. A REZGÉSIDIAGNOSZTIKA SZEREPE ÉS ALKALMAZHATÓSÁGA AZ ELEKTROMOBILITÁSBAN**

Meng és társai [13] egy elektromos jármű hajtómotort használnak kutatási objektumként, amelyhez háromdimenziós szimulációs modellt készítenek, majd validálás után a következő következtetéseket vonják le:

- (1) A motor és a tekercek egyszerűsített modellje a motor szerkezetének modális elemzésével pontosan meg tudja becsülni a jármű szerkezetének sajátfrekvenciáit;
- (2) A járműmotor bonyolult felépítése miatt nehézkes a rezgés módusok sokféle alakjának impulzuskalapáccsal történő, kísérleti előállítás. Ez a cikk a zaj-spektrum teszt módszerével igazolta, hogy a motor szerkezete sajátfrekvenciáinak becslése közvetett módon is lehet helyes.

Ciupitu és társai [14] egy látszólag egyszerű módszerrel - rezgésfigyelés és elemzés - az elektromos hajtás csapágyainak különböző hibáit vizsgálták. Megállapították, hogy a meghibásodások előre jelezhetők, és ez által a különféle forgógépek időzített javítása hatékonyabb karbantartást eredményez. A megelőző karbantartásról a prediktív karbantartási stratégiákra való áttérés a karbantartó iparágak jelene és jövője.

A felfüggesztett agymotorok által hajtott elektromos járművek vertikális teljesítményét tanulmányozták [15] dinamikus szimuláció segítségével negyedjarmű modellben. Az érintett teljesítmény a gumiabroncs útjának tartásával, a jármű vezetési kényelmével és a motor rezgésével kapcsolatos. Az érzékenységi elemzést az indexeknél hajtjuk végre a motor tömege és a motor felfüggesztési paraméterei alapján. Ezután széles körű optimalizálást hajtunk végre a motor felfüggesztésén, hogy felfedezzék a jármű teljesítményének javításában rejlő lehetőségeket. A kutatás során a rezgésdiagnosztikát a jármű teljesítmény fokozásának eszközeként használják. Az egyik megállapításuk, hogy az agy motorokkal hajtott járműveknél a megnövekedett rugóssúly nem csak a gumiabroncsok útjának tartását és a jármű vezetési kényelmét rontja, hanem erősebb motorvibrációkat

is okoz, mint a központi motor által hajtott járművek. Az erőteljes vibráció a motor és a szomszédos szerkezetek idő előtti károsodásának lehetőségét vonja maga után.

Guo és társai tanulmánya [16] egy speciális elektromos autót vizsgál, hogy értékelje a hajtómotor NVH (Noise-Vibration-Harshness: zaj – rezgés - nehéz üzemi körülmények) viselkedését hagyományos hajtómű-rendszerrel párosítva. Kísérleti NVH értékelést végeztek különböző tranziens tesztelési helyzetekben. Az eredmények azt jelzik, hogy a sebességváltó és a hajtáslánc utolsó tagja hozzájárul a középfrekvenciás belső zajtartományhoz. Ennek oka, hogy a belsőégésű motor zaj maszkolása hiányzik. Ezen kívül az villamos erőátvitel rezgésszigetelő képessége szempontjából a tartórendszert úgy kell megtervezni, hogy kiszámítják a hajtómű-szerelvények átjárhatóságát. Ezek a hajtáslánc felfüggesztés újra tervezését jelentik a legtöbb esetben.

#### 4. KUTATÁSI MUNKÁNK

Terveink között szerepel, hogy a hajtáslánc álló tagjainak ún. házrezgései mellett megvizsgáljuk az elektromos hajtásrendszer dinamikai viselkedését torziós lengéstanai szempontból is. Ezzel kapcsolatban megjegyezzük, hogy a belső égésű motorok torziós lengéseivel és ezek az erőátvitel elemekre gyakorolt hatásaival szinte egy egész tudományág foglalkozik. A forgattyústengely torziós lengéscsillapítójának valamilyen megoldásai kivétel nélkül minden motorban megtalálhatók, hiszen ezek a lengések bizonyos motorfordulatszámokon rezonanciákhoz vezetnek, amelyek súlyosan csökkenthetik a hajtás elemeinek élettartamát.

Hibrid hajtásokban a generátor és a motor közötti kapcsolat szintén komoly dinamikai problémák forrása. A P0 hibrid rendszereknél a kiegészítő hajtásban integrált generátor (ISG: integrated starter generator) az indítómotor, illetve az elektromos rásegítő (booster) szerepét is betölti. Itt a különböző üzemállapotoknál (indítás, boost, rekuperáció) a generátor közepes forgató nyomatékának előjele változik, ami az ékszíjhajtás feszített és laza oldalának felcserélődését okozza. A start-stop rendszer alapvető célja a késedelem nélküli indítás, amelyhez impulzus-szerű nyomatékemelkedés szükséges, ami jelentős dinamikus ingénybevételt jelent a hajtás számára. Az új követelmények új generációs szíjfeszítők kifejlesztését tették szükségessé. Ezen alkatrészek előfeszítésének és dinamikus csillapításának a hajtás lengőrendszerével, illetve a főtengelek torziós gerjesztésével való összehangolása összetett szimulációs és kísérleti feladat.

A tisztán elektromos hajtásokban nagyságrendekkel kisebb amplitudójú torziós lengésekkel találkozhatunk. Ez lehet annak az oka, hogy ezzel a területtel a jelenlegi kutatások kevésbé foglalkoznak. Ennek ellenére a járművekben leginkább elterjedt szinkron illetve aszinkron motorokon is megfigyelhetők torziós lengések, amelyek frekvenciája, lengési módusa, illetve amplitúdója a motor pólusszámától ill. egyéb konstrukciós paraméterétől függ. Ezek a viszonylag finom rezgések ritkábban okoznak rezonanciát a hajtásláncban, mint egy belső égésű motornál. Ennek ellenére egyes alkatrészek (pl. csapágyazás) élettartamát, illetve a hajtáslánc rezgéstani (NVH) viselkedését mégis jelentős mértékben befolyásolhatják.

Egy további, lényegesen nagyobb frekvenciájú torziós lengésforrás az elektromos hajtásláncokban szinte kivétel nélkül megtalálható fogaskerék hajtóművek fogazat-kapcsolódási egyenlőtlenésből származik. Ezen a lengések a magasabb frekvenciájuk miatt elsősorban zajként kerülnek a figyelem középpontjába. A két effektus, mint a tengelyekben kialakuló egyenlőtlen járás valamint a hajtáslánc külső burkolatán illetve a járműtesten érzékelhető rezgések párhuzamos vizsgálata elektromos hajtásban egy új terület, amellyel érdemes mélyebben foglalkozni.

#### 5. ÖSSZEZÉS

A kutatásainkat összegezve megállapítható, hogy az autóiipar és a mobilitás egyre intenzívebben az elektromos hajtásláncok felé fordul, amelynek oka főleg a szabályozásban, az üvegházhatás csökkentésében rejlik. A rezgésdiagnosztika kialakult eszköztára jól alkalmazható a hagyományos hajtásláncokon és járműveken. Ennek alkalmazása az elektromos illetve hibrid hajtásláncokban egy új, egyenlőre kevesek által kutatott terület, pedig a elektromos hajtás térnyerése és a rezgésdiagnosztika jó alkalmazhatóságának párosítása sok, gyakorlatban is használható kutatási eredményt ígér. A kutatásainkban az elméleti számvetést követően elkezdjük a rezgésdiagnosztikai mérőrendszerek

összehasonlító vizsgálatát, hogy a felhasználási területeiket specifikáljuk és tovább pontosítsuk a kutatandó területet.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- 1 Török, Á (2018): Elhárítási határköltésgörbék alkalmazása a járműgépészeti fejlesztések prioritizálásában, In: Csibi, Vencel-József; Barabás, István (szerk.) OGÉT 2018, Marosvásárhely, Románia: EM), pp. 508-511. , 4 p.
- 2 Tanczos, K., Torok, Ar. (2008). Introducing decisive development orientations into transport modelling. *Transport*, 23(4), 330-334.
- 3 M. Zöldy (2007) "Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity," in 6th International Colloquim, 2007, p. 235.
- 4 Todoruț, A., Molea, A., Barabás, I.(2020): Predicting the Temperature and Composition-Dependent Density and Viscosity of Diesel Fuel–Ethanol Blends. *Per Pol Chem Eng* 2020/1. <https://doi.org/10.3311/PPch.14757>.
- 5 Zöldy M., (2019) „Fuel properties of Butanol - Hydrogenated Vegetable Oil Blends as a Diesel Extender Option for Internal Combustion Engines” *Per Pol Chem Eng*. doi: <https://doi.org/10.3311/PPch.14153>
- 6 Zöldy M, Török Á. (2005) A forgalomba belépő gépjárművek többlet károsanyag kibocsátásának számítása a nemzetközi határértékek figyelembevételével, *Közlekedéstudományi Szemle* 55 pp. 336-339. , 4 p.
- 7 Lakatos I, Nagyszokolyai I (1997) *Gépjármű-környezetvédelmi technika és diagnosztika I*. Győr, Magyarország : Minerva-Sop Bt. (1997) , 132 p. ISBN: 9639056154
- 8 Dömötör, F.: *Rezgésdiagnosztika, I. kötet*, Főiskolai Kiadó, Dunaújváros, 2008, ISBN 978-963-87780-0-0
- 9 Bánlaki P.: *Gépjármű hajtáslánc fődarabok rezgés-és zajdiagnosztikai végellenőrző rendszereinek továbbfejlesztése*, PhD Disszertáció, BME KJK Gépjárművek és JárműgyártásTanszék Budapest, 2014
- 10 Bánlaki P, Dömötör F, Vass S: New sensor constructions widen possibilities to use vibration fault analysis for vehicles and internal combustion engines, In: IFFK 2013 Budapest, Magyarország, 2013.08.28-2013.08.30. Budapest: Magyar Mérnökakadémia, 2013. Paper 2s8. ISBN: 978-963-88875-2-8
- 11 Dömötör, F: *Rezgésdiagnosztika II. kötet*, Főiskolai Kiadó, Dunaújváros, 2010, ISBN 978-963-9915-43-5
- 12 I, Lakatos ; P, Kőrös ; F, Hajdu: Examination of the effect of sensor properties on the secondary battery model in simulation environment, *ACTA TECHNICA JAURINENSIS* 7 : 1 pp. 71-86. , 16 p. (2014)
- 13 Meng B, Enwei C, Yimin L, Zhengshi L, Shuai L (2014): Vibration and noise analysis for a motor of pure electric vehicle, *Advanced Materials Research Online*, ISSN: 1662-8985, Vols. 915-916, pp 98-102, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.915-916.98
- 14 Ciupiti L, Tudor A, Turcan D, Sandor D (2012) *Vibration Diagnosis of Electric Motor’s Bearings: Advanced Materials Research* Vols. 463-464 (2012) pp 1725-1728, Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.463-464.1725
- 15 Tong W, Hou Z (2013), *Vertical Vibration Analysis on Electric Vehicle with Suspended In-wheel Motor Drives EVS27*, Barcelona, Spain, November 17-20,
- 16 Guo R, Wei X, Gao J (2016) Experimental NVH evaluation of a pure electric vehicle in transient operation modes, *JVE International ltd. Vibroengineering Procedia*. DEC 2016, VOL. 10. ISSN 2345-0533