

Elektromotor tesztpad tervezési kérdései

Összefoglalás: Ebben a cikkben a Tématerületi Kiválósági Program keretében, ipari szakemberek bevonásával tervezett elektromotor vizsgáló fékpad beüzemelési és tesztelési tapasztalatait és eredményeit ismertetjük. A fékpad alkalmas 10000-es percenkénti fordulatszámra és maximum 140Nm terhelőnyomatékig elektromotor tesztelésére, 28kW-os teljesítménykorláton belül. A berendezéssel szinkron és aszinkron motor is tesztelhető, mechanikai felépítése lehetővé teszi a gyors motorcserét. A tesztelés során validáltuk a mérőrendszert, létrehoztunk tesztprogramokat, illetve járató programot is amivel biztosítható az üzemi körülmények ellenőrzött elérése.

Kulcsszavak: Elektromotor vizsgáló fékpad; teljesítménykorlát; gyors motorcsere.

Abstract: In this paper, we describe the commissioning and testing experiences and results of an electric motor test bench designed with the involvement of industry experts within the framework of TKP2020. The test bench is suitable for testing electric motors at a speed up to 10,000 revolutions per minute and a maximum torque of 140Nm, within a power limit of 28kW. Both synchronous and asynchronous motors can be tested and the mechanical structure enables quick motor change. During the testing, we validated the measuring system, created test programs and also a running program, which can be used to ensure the controlled achievement of operating conditions.

Keywords: Electric motor test; power limit; quick motor change.

* Dunaiújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet
Email: nagyandras@uniduna.hu

** Dunaiújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet
Email: szabogyula@uniduna.hu

*** NCT Kft.

**** NCT Kft.

[1] Moriarty, Patrick–Damon, Honnery (2016): “Global transport energy consumption.” *Alternative energy and shale gas encyclopedia*. Pp. 651–656.

[2] Nejat, Payam–Jomehzadeh, Fatemeh–Mahdi Taheri, Mohammad–Gohari, Mohammad–Zaimi, Muhd–Majid, Abd.: A global review of energy consumption, CO₂ emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO₂ emitting countries). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 43., Pp. 843–862. ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.06>.

Bevezetés

Napjainkban az elektromotorok fejlesztése, azok hatásfokának növelése és egyéb működési jellemzőik javítása a mobilitásban betöltött növekvő szerepük, illetve a szigorodó környezetvédelmi normák miatt egyre nagyobb szerepet kap.

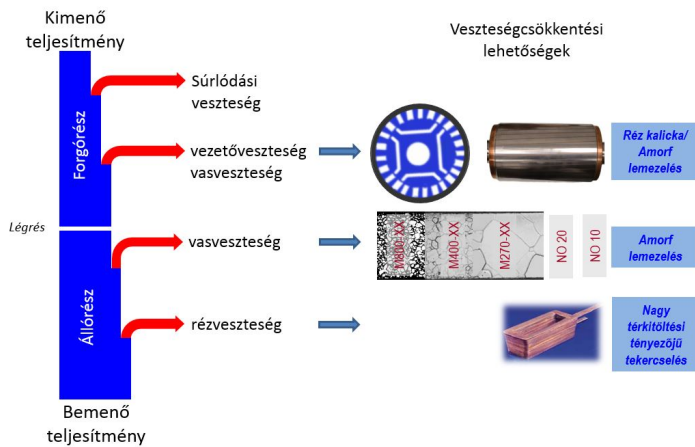
A közlekedés energiaigénye a világ globális energiaigényének mintegy 33%-a [1], melynek 78,6%-át [2] a közúti közlekedés használja fel.

A gépjárművek energiagazdálkodásának javítására tehát kiemelten fontos, globális, energetikai és környezetvédelmi problémákat egyaránt érintő kutatási terület.

A fosszilis tüzelőanyagokat kiváltó gazdaságosabban előállítható és környezetet kevésbé terhelő alternatív energiaforrások, mint például a villamos energia közúti közlekedésben való elterjedése elsősorban az energiatárolási nehézségek miatt még nem problémamentes. Szélesebb körű elterjedésének feltétele az egy töltéssel megtehető távolság növelése, és a jelenleg használt gépjárművek hatótávolságával összemérhető hatótávolság elérése. Ennek lehetséges módja az energiatárolás hatékonyságának növelése mellett a járművek energiagazdálkodásának javítása.

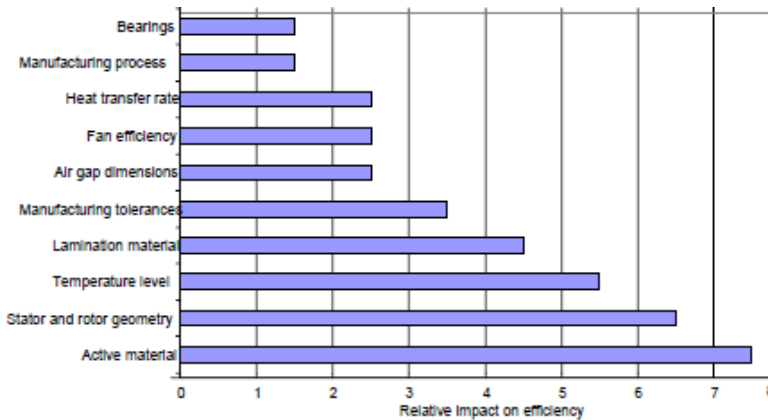
A járművek hatásfokjavításának egy lehetséges lehetősége a járművek meghajtására szolgáló elektromotorok hatásfokának növelése.

1. ábra. Elektromotorok veszteségei



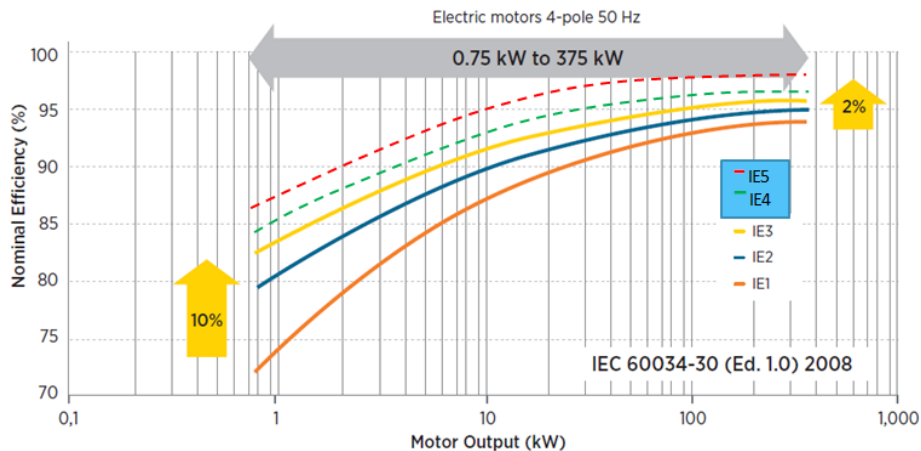
Forrás: Saját szerkesztés.

2. ábra. Az indukciós motor teljesítményének lehetséges fejlesztési területeinek hatása [3]



[3] Waide, Paul-Brunner, Conrad U. (2011): *Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems*. International Energy Agency.

3. ábra. IE1 – IE5osztályú motorok hatékonysága (4 pólusú) [3]



A korszerű anyagok és gyártási technológiák alkalmazásával a működés során keletkező veszteségek tovább csökkenthetők. Fontos megjegyezni, – alapul véve az OECD kimutatását – hogy kis, mindössze néhány tized %-os hatásfokjavulás is jelentős energiamegtakarítást jelent; a világon használatban levő villanymotorok

[3] Waide, Paul–Brunner, Conrad U. (2011): *Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems*. International Energy Agency.

[4] Abdelwanis, Mohamed I. et. al. (2021): Implementation and Control of Six-Phase Induction Motor Driven by a Three-Phase Supply. *Energies*. 14., (7798.) <https://doi.org/10.3390/en14227798>

[5] Sharma, N.–Jiang, B.–Rodionov, A.–Liu, Y. (2022): “A Mechanical-Hardware-in-the-Loop Test Bench for Verification of Multi-Motor Drivetrain Systems,” in *IEEE Transactions on Transportation Electrification*. doi: 10.1109/TTE.2022.3191411.

[6] Lanzara, Gianluca (2021): Electric motor test bench for efficiency maps generation. *Master Thesis*. Politecnico Di Torino. <https://webthesis.biblio.polito.it/secure/17494/1/tesi.pdf>

jelenleg kereskedelmi forgalomban kapható legnagyobb hatásfokúakra cserélésével 2030-ig az összes energia-megtakarítás elérné a 322 TWh-t, amely energia konverziója során mintegy 206 Mt CO₂ szabadul fel. [3]

Motorok hatásfokjavításának lehetséges módszere a motor fordulatszámának növelése. A növelt motorfordulatszám azonban új anyagok alkalmazását teszi szükségessé, a motor forgórésze a megemelt fordulatszám során fellépő centrifugális erő hatására fokozott mechanikai terhelést kap, amelyet a jelenleg alkalmazott kalickaanyagok, mint alumínium és nagy tisztaságú réz (Cu-ETP), alakváltozás nélkül már nem viselnek el. A forgórészben alkalmazott vezetőkeret (kalicka) szilárdságának elektromos vezetőképeség megtartása melletti növelése, illetve a gyártástechnológia fejlesztése a motorfejlesztés fontos kutatási területe.

Az elektromotorok hatásfokmérése

A hibrid és elektromos járművek meghajtása nagy teljesítményű, kompakt háromfázisú vagy hatfázisú gépeken alapulnak [4], amelyek tápellátását megfelelő inverterekkel biztosítják. Több nagy gyártó is kínál skálázható, automatizált villanymotor tesztpadokat ezen hajtások tesztelésére és jellemzésére, ami a motorfejlesztési folyamat elengedhetetlen része. A fékpadok jellemző alkalmazásai közé tartoznak a hatásfokvizsgálatok, a hőtechnikai, tartóssági tesztek és a járműszimulációval végzett menetciklus-tesztek. További lehetőség a hardver-in-the-loop (MHIL) tesztpad használata, amely a tervezett munkakörnyezet valós idejű szimulációit kombinálja a tesztpaddal [5].

A próbapadok általában egy stabil vázszerkezetből, terhelőgépéből és akkumulátorszimulátorból állnak [6]. A jármű akkumulátorával történő üzemeltetés opcionális, az egyszerűbb, vagy speciális területre tervezett tesztpadokon nincs ilyen opció. A terhelőgép általában vízhűtéses, így az optimális üzemeltetési körülmények jól szabályozhatóan biztosíthatók. Egyes gyártók fékpadjai akár klímakamrával is felszerelhetők a környezeti körülmények szimulálására.

A villanymotor tesztberendezések tipikus elrendezésén túl további elrendezések is léteznek. Egy sebességváltó beépítésével a sebesség és a nyomaték

széles határok között változtatható az adott maximális teljesítménytartományon belül. Egy másik elrendezésben a terhelőgép egy elektromotor (back-to-back konfiguráció), amely villamos paraméterei úgy szabályozhatók, hogy az a kívánt terhelést állítsa elő [7].

Elektromotor tesztpad fejlesztése

Az általunk választott tesztpad-elrendezésben a terhelést egy elektromotor biztosítja, amelynek villamos paraméterei széles tartományban változtathatók, így az a kívánt feltételeknek megfelelő terhelést tudja biztosítani. Ez az elrendezés a fentieknek megfelelően az úgynevezett back-to-back konfiguráció.

A pályázat keretén belül a back-to-back fékpadkonfiguráció mellett döntöttünk. Ennek az oka, hogy így a gyártási költségek optimális szinten tarthatók, illetve a terhelőmotor helyes megválasztása esetén a fékpad univerzálisan használható lesz a legtöbb, Magyarországon fejlesztett szervomotorral.

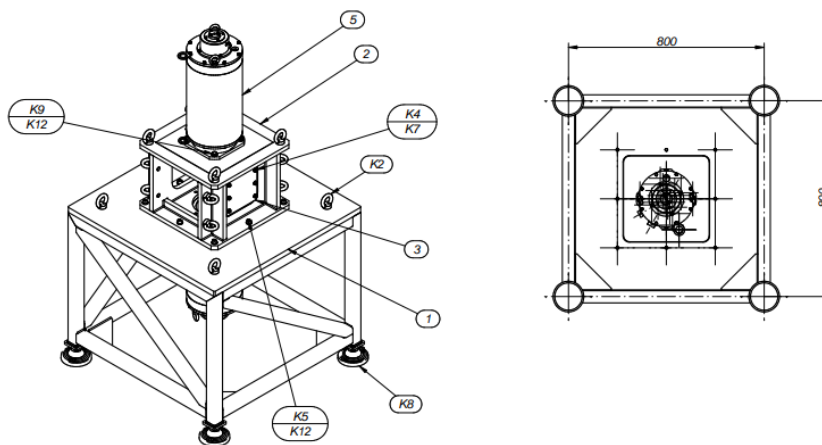
[7] De Santis, M.– Agnelli, S.–Patanè, F.–Giannini, O.–Bella, G. (2018): Experimental Study for the Assessment of the Measurement Uncertainty Associated with Electric Powertrain Efficiency Using the Back-to-Back Direct Method. *Energies*. 11., (3536.) <https://doi.org/10.3390/en11123536>

4. ábra. Kifejtett fékpad blokkdiagramja



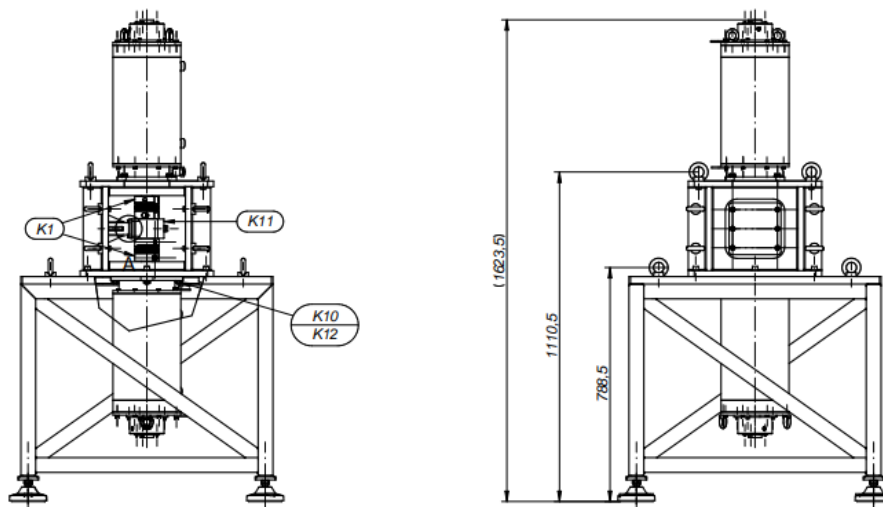
A fejlesztést az NCT Kft. szakembereinek bevonásával végeztük, a fékpad legyártását is ez a cég végezte. A tervezés és méretezés korszerű CAD-szoftverek segítségével történt. A 5. ábrán látható módon kapcsolódnak a főegységek egymáshoz. A nyomaték mérő segítségével a valós, mechanikai nyomaték mérhető a villanymotor tengelyén, így a fizikailag mért fordulatszámmal együtt számos paraméter meghatározható (pl. szlip, hatásfok). Mind a vizsgált szervomotor (S1), mind a terhelőmotor (S2) rendelkezik egy-egy saját hajtáselektronikával, melyeket a főtápegység lát el energiával. A hajtások biztosítják a szervomotorok szabályozott üzemét, és villamos adatokat szolgáltatnak, melyeket a vezérlőegység dolgoz fel és jelenít meg. A terhelő nyomaték mérést a két szervomotor tengelyére csatlakoztatott precíziós nyomaték mérő végzi. A mért nyomatékot reprezentáló villamos jel az analóg jelfeldolgozó kártyához kapcsolódik.

5. ábra. A kifejlesztett fékpad összeállítási rajza



A hajtások, és a jelfeldolgozó kártya által szolgáltatott adatok nagysebességű EtherCAT kommunikációval jutnak el a vezérlőig. Az input/output modulok a szervomotorok hűtéseinek vezérléséért, illetve a csillag-delta átkapcsolás kontaktorainak működtetéséért felelősek.

6. ábra. Berendezés fő méretei



A rendszerben helyet kapott még egy úgynevezett fejegység-modul, mely az I/O egységek és a vezérlő közötti EtherCAT kommunikációt biztosítja. A 24V-os tápegység feladata a vezérlő, az EtherCAT kártyák, a főtápegység és a hajtások valamint a nyomatékmerő tápfeszültségének biztosítása. A főtápegység a DC sínfeszültséget biztosítja a hajtások számára. Mind a terhelő, mint a mért motor esetében folyadékhűtést alkalmazható, ami kiemelt fontosságú terheléses mérések esetén a motor védelme szempontjából. A legyártott és készre szerelt fékpadról készült fénykép a 7. ábrán látható.

7. ábra. Elkészült és beüzemelt motor fékpad



A fékpaddal, telepítése és üzembehelyezése után, tesztméréseket végeztünk. Az egyik ilyen mérés eredménye a 8. ábrán látható. A validációs mérések eredményeképpen kijelenthető, hogy a tesztpad a specifikációban meghatározott módon üzemel, a mérése pontosságára további validációs tesztek futtatása szükséges.

8. ábra. A fékpaddal történt egyik mérés eredménye

