

Hajtómű matematikai modell elemzése

Polák József*, Dr. habil Lakatos István PHD**

*¹ Széchenyi István University, Department of Automotive and Railway Engineering,
E-mail: polakj@sze.hu

H9026 Győr, Egyetem square 1, HUNGARY

² Széchenyi István University, Department of Automotive and Railway Engineering,
E-mail: drlakatosi@gmail.com

H9026 Győr, Egyetem square 1, HUNGARY

Abstract: A cikk különböző villamos járművek hajtásláncának fejlesztésénél felmerülő tervezési változatok kiválasztását segítő hajtómű matematikai modell viselkedését mutatja be a tervezői paraméterek változásának függvényében. A villamos járművek esetében a hajtómű hajtásláncba történő energetikai optimalizálásához felépítésre kerül a hajtómű matematikai modellje, mely segítségével meghatározható az egyes áttételek hatásfok mezeje. A matematikai modell megalkotásakor létrehozunk egy paraméter vektort, mely a hajtómű független tervezői változóit tartalmazza, ezek a változók különböző mértékben vannak hatással a modell viselkedésére. Ebben a cikkben a változók hatását vizsgálom.

1. BEVEZETÉS

A győri Széchenyi István Egyetemen több éve folyik különböző teljesítmény szintű villamos és hibrid járművek fejlesztései. A fejlesztések egyik fő irányvonala a villamos járművek hajtásláncának a vizsgálata, elemzése, modellezése. Napjainkban a villamos járművek egyik kulcs problémája a rövid hatótávolság, mely szükségessé teszi a villamos járművek energetikai szintű vizsgálatát és elemzését. Az energetikai vizsgálat egyik fontos eleme a jármű hajtáslánc, mely magába foglalja a járművet hajtó PMS motort, és a legtöbb esetben a hozzá tartozó hajtóművet. Egy adott jármű esetén a hajtómű szükségességének illetve áttételének a megállapítása egy összetett elemzés eredményeként határozható meg. A hajtómű igénye esetén megoldandó problémát jelent a megfelelő hajtómű konstrukció tervezése, kiválasztása. A tervezés nehézségét az okozza, hogy a hajtóművek hatásfokát a teljes működési tartományban konstans értékkel kezelik általában, miközben ezek a különböző működési tartományokban jelentős eltérést mutatnak. Ezért szükség van a hajtómű matematikai modelljének a megalkotására, mely segítségével energetikailag optimálisan illeszthetővé válik a jármű hajtásláncába. A matematikai modell megalkotása magába foglalja a hajtómű független tervezői paramétereinek a meghatározását. A paraméterek ismertetésénél viszont felmerül annak a kérdése, hogy ezek változása milyen hatást gyakorol a modellre. A kérdés megválaszolására a modellen vizsgálatot kell végezni.

2. MATEMATIKAI MODELL FELLÁLLÍTÁSA

2.1 Dinamikus modell

A matematikai modell megalkotáskor két utat választottunk, az egyik esetben megalkottuk a hajtómű dinamikai modelljét, mely az adott hajtóművet nem csak az adott munkaponton írja le, hanem a tranziens állapotokat, gyorsulási és lassulási folyamatokat is képes kezelni. Ennek a modellezésnek az előnye, a hajtómű teljes körű leírása, kezelése [1].

2.2 Kvázistatikus modell

A másik lehetőség, a modell analitikus [1] úton formális képletekkel történő felépítése. Ebben az esetben a megalkotott modell a tranziens jelenségeket nem kezeli, csak a munkaponti állapotokat, viszont kisebb a számítógép igénye és a számítási idő igénye.

Mindkét modell segítségével optimalizálhatóvá válik egy adott hajtómű, a következő eljárással.

Egy kiválasztott, vagy létrehozott menetciklus esetén azt munkapontokba (nyomaték, fordulatszám) fejtük. A munkapontokhoz hozzárendeljük a jármű adott munkaponton történő tartózkodásának a valószínűségét és ennek segítségével meghatározzuk a hajtómű kumulált veszteség energiáját. A kumulált veszteségenergia figyelembe vételével tudjuk az egyes hajtómű változatokat energetikailag összehasonlítani, értékelni [2].

3. A HAJTÓMŰ PARAMÉTERVEKTORÁNAK MEGHATÁROZÁSA

A hajtómű modell úgy lett felépítve, hogy a munkapontokon kialakult állandósult állapotok vizsgálatával határozza meg a hajtómű veszteségeit. Ez a munkaponti vizsgálat lehetővé



CAETS

„IFFK 2015” Budapest

Online: ISBN 978-963-88875-3-5

CD: ISBN 978-963-88875-2-8

Paper 15

Copyright 2015 Budapest, MMA.

Editor: Dr. Péter Tamás

teszi mind dinamikus, mind analitikus matematikai modellalkalmazását az optimalítás folyamán. A modell megalkotásának kulcs fontosságú része a paraméterek meghatározása, melyek segítségével a hajtómű optimalizálhatóvá válik [3]. Ezek a paraméterek olyan független változók, melyek egyértelműen meghatároznak egy adott hajtóművet [4]. A paraméterek vektor teret alkotnak, és a hajtómű optimalizálása ebben a vektortérben történik. A hajtómű paraméter vektora:

$$Pg[i, m, a_w, b, \alpha, \beta]$$

hajtómű áttétel: i ,
 modul: m ,
 tényleges tengelytávolság: a_w ,
 fogaskerék szélesség: b ,
 kapcsolószög: α ,
 fogferdeség szöge: β ,

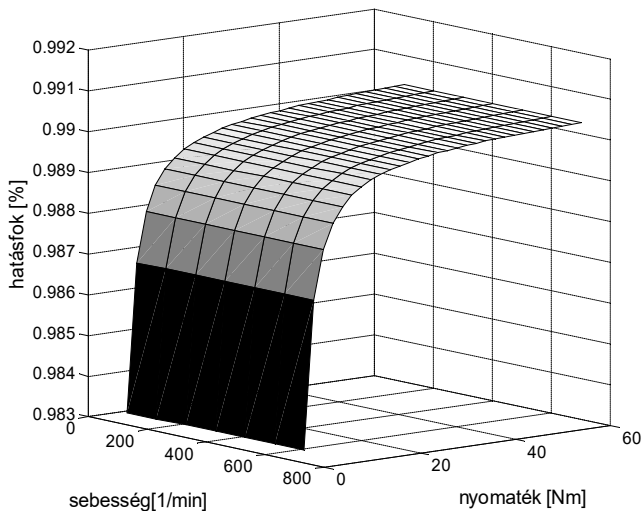
4. EGY ADOTT PARAMÉTERVEKTORÚ HAJTÓMŰ MODELLEK HATÁSFOKMEZEJÉNEK MEGHATÁROZÁSA

Ebben a példában egy városi villamos autó hajtásálcába illeszthető hajtómű hatásfok mezejét határozzuk meg. Első lépésben definiáljuk a jármű működési tartományát, maximális sebesség (kb. 70 km/min), maximális gyorsulás (1 m/sec^2), ebből meghatározható a maximális vonóerő igény és a kerék maximális fordulata. Ezt követően megadjuk a hajtómű paraméter vektorát, mely a hajtóművet egyértelműen meghatározza.

Az általunk kiválasztott hajtómű paraméter vektora:

$$Pg[6, 1.5, 78.75, 15, 20, 0]$$

A munkapontok és a hajtómű paramétereinek a megadását követően a matematikai modell és szoftver segítségével meghatározzuk a munkapontokon a hajtómű hatásfokát. Ezen hatásfok értékekre burkoló felületet illesztünk, és ezzel meghatározzuk a hajtómű hatásfok mezejét (1.ábra).



1. ábra A kiválasztott hajtómű hatásfokmezeje szimulációval meghatározva [1]

5. A MATEMATIKAI MODELLEK VIZSGÁLATA

A modell által megalkotott hatásfok mező vizsgálatok megállapítottam, hogy a hajtómű hatásfoka a teljes terhelési tartományban a sebességtől minimálisan függ, míg a terhelő nyomaték jelentős hatással van rá (1.ábra). Ezt felismerve a modell paraméter függőségének a vizsgálatát csak a terhelő nyomaték függvényében elemzem.

Ennek elvégzésére kiválasztok egy hajtóműtípust, melynek a paraméter vektorát meghatározom:

$$P_h[1; 1.5; 78.75; 15; 20; 0]$$

Ezt követően a paraméterek közül mindig egyet meghagyok független változónak, míg a többi paramétert megkötöm, és ugyanazon a fordulatszámra ($n=500\text{ 1/min}$) a megadott terhelési tartományban ($M=0-60\text{ Nm}$) vizsgálom a modellt, és meghatározom, hogy egyes paraméterek változására mennyire érzékeny a kiválasztott hajtómű modell.

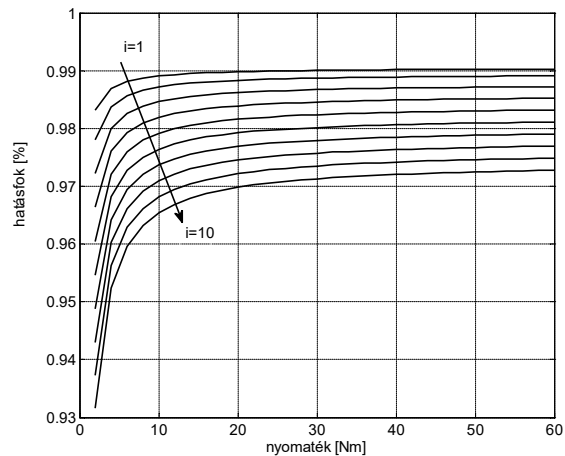
5.1 Példa a modellvizsgálatra

Ebben a példában a független tervezői paraméterek változásának a hatását vizsgálom.

A vizsgálatok az áttétel értékét változtatom 1-től 10-ig és közben meghatározom az adott áttételhez tartozó hajtómű hatásfok görbét (2. ábra). A vizsgált hajtómű paraméter vektora:

$$P_h[\Delta i; 1.5; 78.75; 15; 20; 0]$$

$$\Delta i = 1 \dots 10,$$



2. ábra Az áttétel változtatásának hatása a hajtómű hatásfokára adott terhelési tartományban

A vizsgálat eredményeként megállapítom, hogy az áttétel változásához elég nagy hatásfokváltozás tartozik, ami azt jelenti, hogy az áttétel 1...10 történő változtatására a modell hatásfoka egy adott metszék képzése esetén kb. 1,8%-os hatásfok romlást eredményez.

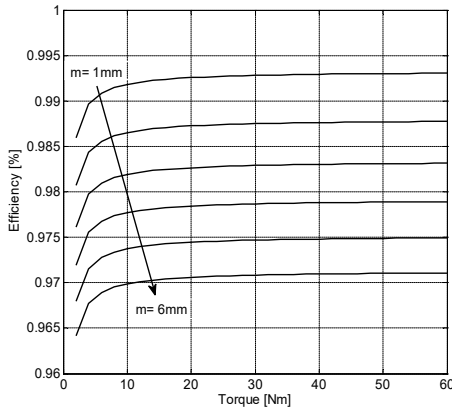
Ezen módszerfelhasználásával a modul változásának a hatása is vizsgálható, mely eredménye a 3.ábrán látható, amelyből megállapítom, hogy a modul változtatásához elég

nagy hatásfokváltozás kapcsolódik, tehát a modul 1...6 mm-ig történő változtatására a modell hatásfoka egy adott metszék képzése esetén kb. 2,2% hatásfok romlást eredményez.

A modul hatásának vizsgálatához alkalmazott hajtómű paraméter vektora:

$$P_A[1; \Delta m; 78,75; 15; 20; 0]$$

$$\Delta m = 1 \dots 6,$$

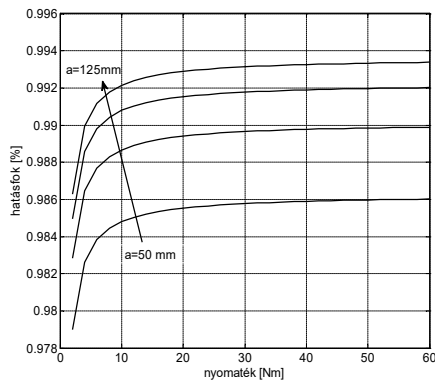


3. ábra A modul változtatásának hatása a hajtómű hatásfokára adott terhelési tartományban

A tengelytáv változás hatását a 4. ábra szemlélteti, a vizsgált hajtómű paraméter vektora:

$$P_A[1; 1,5; \Delta a_w; 15; 20; 0]$$

$$\Delta a_w = 50 \dots 125,$$



4. ábra A tengelytávolság változtatásának hatása a hajtómű hatásfokára adott terhelési tartományban

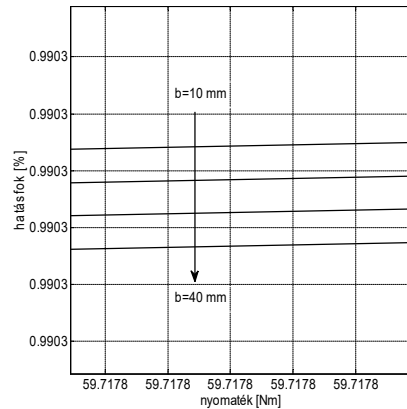
A fogszélesség hatásvizsgálatának első lépéseként meghatároztuk a vizsgálatához létrehozott hajtómű paraméter vektorát:

$$P_A[1; 1,5; 78,75; \Delta b; 20; 0]$$

$$\Delta b = 10 \dots 40,$$

A vektorból megállapítható, hogy a fogszélességet a vizsgálat folyamán 10... 40mm között változtatjuk. A vizsgálat

eredményéből (5. ábra) megállapítható, hogy a fogszélesség változtatásának a hatása minimális a modell hatásfokára.



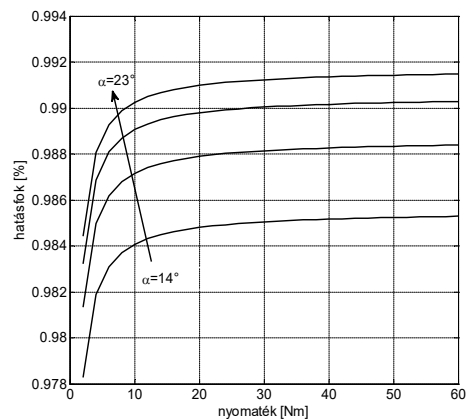
5. ábra A fogszélesség változtatásának hatása a hajtómű hatásfokára adott munkaponton

Az elemi fogazatot 20°-os míg az általános fogazatot 20... 23° közötti kapcsolószög értékkel gyártják, régebben gyártottak 14°-os kapcsolószöggel készített fogaskerekeket is [5], napjainkban ezeket már nem alkalmazzák.

A kapcsolószög változását vizsgáló hajtómű paraméter vektora:

$$P_A[1; 1,5; 78,75; 15; \Delta \alpha_{wf}; 0]$$

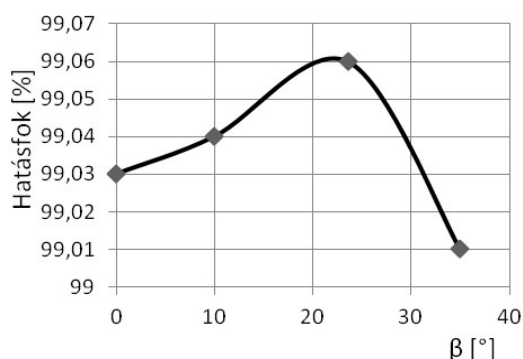
$$\Delta \alpha_{wf} = 14 \dots 23,$$



6. ábram A kapcsolószög változtatásának hatása a hajtómű hatásfokára adott terhelési tartományban

A kapcsolószög növelésével javul a hajtómű hatásfoka, de a hatása nem túljelentő (6. ábra).

A modell fogferdeség érzékenységét vizsgáltnál azt állapítottam meg, hogy a modell hatásfoka kb. 23,55°-os fogferdeséig növekedett, habár ez a növekedés néhány tízezres nagyságrendű, ez által igazából közel állandónak tekinthető, majd ezt követően kezd el a hatásfok függvény csökkenni (7. ábra).



7. ábra A fogferdeség hatása a hajtómű hatásfokára

A járműiparban alkalmazott ferdefogazatú kerekek fogferdeségét 0°-tól kb.30°-ig gyártják. Ebben a tartományban a fogferdeség hatása az egy fokozatú homlok fogaskerekes hajtóművekre elhanyagolható.

6. MODELL VIZSGÁLAT EREDMÉNYE

A matematikai modell vizsgálat elvégzésével a tervezési változók halmazán megállapítom, hogy melyek azok a paraméterek, melyek változására a modell érzékenyen reagál, és melyek azok a paraméterek melyekre kevésbé érzékeny. Az érzékenység ebben az esetben a hajtómű hatásfok mezeje és a tervezői változók, közötti összefüggésre világít rá.

A vizsgálat folyamán kapott eredmények az alábbi táblázatban láthatók.

Paraméter változás tartománya	Hatásfok változás [%]
$\Delta i = 1 \dots 10$ [-]	$\Delta \eta = 1,8$
$\Delta m = 1 \dots 6$ [mm]	$\Delta \eta = 2,2$
$\Delta b = 10 \dots 40$ [mm]	$\Delta \eta = 0,001$
$\Delta \alpha_w = 14 \dots 23$ [°]	$\Delta \eta = 0,6$
$\Delta a_w = 50 \dots 125$ [mm]	$\Delta \eta = 0,7$
$\Delta \beta = 0 \dots 30$ [°]	$\Delta \eta = 0,002$

1. táblázat a vizsgálat eredményei

A paraméter vizsgálatból egyértelműen meg tudom határozni, hogy a hajtómű modell a fogaskerékpár áttételére és a fogaskerekek modulméretére érzékenyen, míg a fogaskerék szélességére, tényleges kapcsolószög, tengelytávolságra és a fogferdeségre kevésbé érzékeny.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatott modell vizsgálat segítségével, a tervezői változók minősíthetők az által, hogy a modellre nagyobb hatást gyakorló változók bent hagyhatók a paramétervektorba ezek jelen esetben az áttétel és a modul, míg azok a paraméterek, melyekre kevésbé érzékeny a modell (fogszélesség, kapcsolószög, fogferdeség, tengelytávolság) kikerülnek onnan. Ennek segítségével az optimalizálási algoritmus lefutása jelentős mértékben egyszerűsödik és gyorsul, úgy, hogy közben a pontossága jelentős mértékben nem romlik.



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatásával megvalósuló **VKSZ_12-1-2013-0038**: "Stratégiai ipari ágazatok jövőbemutató gyártási technológiáihoz és termékeihez kapcsolódó térségi kutatási kompetenciáik megerősítése széleskörű együttműködésben megvalósított kutatás-fejlesztési programmal" projekt támogatta.

This research has been supported by the „Highly industrialised region on the west part of Hungary with limited R&D capacity: Research and development programs related to strengthening the strategic future-oriented industries manufacturing technologies and products of regional competences carried out in comprehensive collaboration” program of the National Research, Development and Innovation Fund (NKFI), Hungary, Grant. No. **VKSZ_12-1-2013-0038**.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] József Polák, István Lakatos, (2015) Efficiency optimization of electric permanent magnet motor driven vehicle, The Journal of the Faculty of Technical Sciences, Machine Design, Vol. 7, Novi Sad, ,
- [2] L. GUZZELLA, A. SCIARRETTA: (2005) Vehicle Propulsion Systems, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005, ISBN 978-3-540-25195-8
- [3] Polák József, Vida Bálint, (2013) Hajtómű részterhelésének veszteségvizsgálata és annak jelentősége, IFFK, Budapest, 2013, augusztus 28-30.
- [4] Dr.Zsáry Árpád, Gépelemek II. Budapest, 1990, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt. ISBN 963 19 1166 7
- [5] Erney György (1983) Fogaskerekek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- [6] István Lakatos, Dávid Czeglédi, József Polák: RESEARCH OF ELECTRIC MOTOR MECHANICAL LOSSES, In: Kékesi Tamás (szerk.), The Publications of the MultiScience - XXIX. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2015.04.09-2015.04.10. Miskolc: University of Miskolc, 2015. Paper D2_9. 5 p. , (ISBN:978-963-358-061-5)
- [7] Lakatos István: Modeling of a Naturally Aspirated Gasoline Engine in the GT-suite Software Environment, In: Matija Fajdiga, Jernej Klemenc (szerk.), IAT 2012 - Innovative Automotive Technology. Konferencia helye, ideje: Dolenjske Toplice, Szlovénia, 2012.04.12-2012.04.13. Ljubljana: LAVEK, 2012. pp. 77-94., (ISBN:978-961-6536-61-5)
- [8] Lakatos István: Diagnostic measurement for the effective performance of motor vehicles, ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 10:(3) pp. 239-249. (2013)
- [9] Lakatos István: Instacioner üzemállapotú motorteljesítmény-mérés görgős járműfékpadon, In: Dr Bikfalvi Péter, microCAD 2010, F Section: XXIV. International Scientific Conference. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2010.03.18-2010.03.20. Miskolc: Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum, 2010. pp. 33-38., Fluid and Heat Engineering, (ISBN:978-963-661-910-7)