

# Járműveknél fellépő veszteségforrások elemzése

## Development of Analysis of Loss Sources of Vehicles

S. PÁLINKÁS<sup>1</sup>, GY. JUHÁSZ<sup>2</sup>, F. SZODRAI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., főiskolai docens, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék,  
palinkassandor@eng.unideb.hu

<sup>2</sup>Ph.D., egyetemi docens, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, juhasz@eng.unideb.hu

<sup>3</sup>Ph.D., adjunktus, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék,  
szodrai@eng.unideb.hu

*Absztrakt. A jármű üzemanyag fogyasztását jelentős mértékben befolyásolják a különböző veszteségek, ilyenek a gépjárműben keletkező veszteség (pl. csapágy veszteségek, a hajtásban, hajtóműben keletkező veszteségek stb.), a légellenállás vagy a gumiabroncsok gördülési ellenállása. Fontos tény, hogy üzemanyag-megtakarítást csak az üzem közben létrejövő veszteségek csökkentésével lehet elérni.*

*Kutatómunkánk célkitűzése, hogy definiáljuk a járművekben fellépő veszteségeket és azok meghatározási módszereit. A későbbiekben az így meghatározott értékek bemenő adatként fognak szolgálni járműenergetikai számítások modellezésénél.*

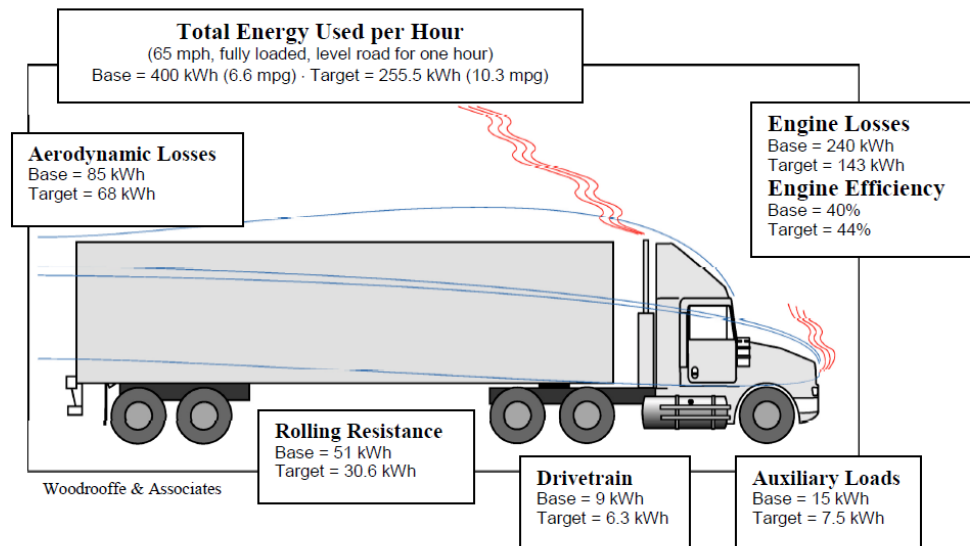
*Kulcsszavak: veszteségforrások, gördülési ellenállás, hajtáselemek veszteségei, légellenállás*

*Abstract. Vehicle fuel consumption can be significantly influenced by various types of losses such as loss from bearing, aerodynamic drag and rolling drag. It is important to highlight that fuel consumption reduction can be only achieved when those losses are reduced that are induced during the operation.*

*The aim of our work group is to define the calculation method and the magnitude of the losses of the vehicles. These parameters are intended to be serve as input parameters for future energetic modelling of vehicles.*

## 1. Bevezetés

Egy jármű motorja által leadott mechanikus energiának körülbelül fele a járműben keletkező veszteségekre fordítódik. Ezek a veszteségek a légellenállás, a gördülési ellenállás, a hajtáselemek keletkező ellenállás és egyéb járulékos veszteségek. Tétélezzük fel, hogy tökéletes gumiabroncsok és vákuumban hajtott jármű esetében, a motornak csak a mechanikai munka felét kellene végeznie, ennek következtében kevesebbet fogyasztana, ezáltal több kilométert tudna megtenni. Az 1. ábra alapján könnyen belátható, hogy a járművek üzemanyag-fogyasztásának csökkentése érdekében a veszteségforrások feltárásának és csökkentésének döntő szerepe van.



1. ábra. Egy 65 mph-val haladó kamion veszteségei [1]

## 2. Gördülési ellenállás

Amikor a gumiabroncs az úton gurul, a gördülő ellenállásnak nevezett jelenség eredményeként a mechanikus energia hővé alakul át. Valójában a gumiabroncs a kereknek átadott energia egy részét elfogyasztja, így kevesebb energia marad a jármű előre haladásához. A gördülési ellenállás ezért fontos szerepet játszik a jármű üzemanyag-fogyasztásának növekedésében. A gördülési ellenállást befolyásoló tényezők a következők: a gumiabroncs szerkezeti kialakítása, mérete és hőmérséklete, a gumiabroncsban lévő levegőnyomás, a jármű sebessége és tömege, a gumiabroncs anyaga és mintázata és a gumiabroncs csúszása. Az évek során számos összefüggést határoztak meg a gördülési ellenállás számítására. A gumiabroncsok gördülési veszteségjellemzőivel foglalkozó tanulmányok a következő egyenlethez vezettek [2]:

$$f_r = \frac{R_x}{W} = C \cdot \frac{W}{D} \cdot \sqrt{\frac{h_t}{w}} \quad (1)$$

ahol:  $R_x$  = a gördülési ellenállás leküzdésének erőszükséglete,

$W$  = a jármű tömege,

$C$  = a gumi anyagának rugalmasságából származó állandó,

$D$  = a gumiabroncs külső átmérője,

$h_t$  = a gumiabroncs szelvényének magassága,

$w$  = a gumiabroncs szelvényének szélessége.

## 3. Hajtáselemek veszteségei

A gépjárművek hajtáselemeiben keletkező veszteségek lényegesen kisebbek, mint a motor veszteség illetve a légellenállásból és gördülési ellenállásból keletkező veszteségek. A bevezetésben említett

kamion esetén (1. ábra) ez körülbelül mindössze 2%, ennek ellenére számos kutató foglalkozik ezen veszteségek feltárásával [3], [4], [5]. A [6] irodalom a hajtóműben az alábbi veszteségeket definiálja:  $P_{fv}$  – fogsúrlódási veszteség,  $P_{cs}$  – csapágyveszteség,  $P_{kv}$  – kenőanyag keverés veszteségei,  $P_{lv}$  – légkavarási veszteségek,  $P_{ts}$  – tömítések súrlódási veszteségei,  $P_{rd}$  – alkatrészek rugalmatlan deformációjából adódó veszteség.

#### Fogsúrlódási veszteségek ( $P_{fv}$ )

A fogaskerékajtás veszteségei közül legjelentősebb a fogsúrlódási veszteség, amelynek számítására sokféle eljárást dolgoztak ki. A számítás fontos értéke a fogsúrlódási tényező, amelynek meghatározására is több ajánlás van. A gyakorlatban azonban leginkább egy átlagos fogsúrlódási tényezővel számolnak [7].

#### Csapágyúrlódási veszteségek ( $P_{cs}$ )

A csapágyúrlódási veszteségek meghatározásával számos kutató foglalkozott [8], [9], [10], de napjainkban leginkább a csapágygyárak ajánlásai adnak jó támpontot a csapágyveszteségek számításához [11]. Tekintve, hogy a csapágyveszteségek értéke nagyon csekély, és a mérése is nehézséget okoz, ezért számításoknál ez a veszteség gyakran elhanyagolható.

#### Kenőanyag keverési veszteségek ( $P_{kv}$ )

A hajtóműben az olajba merülő fogaskerekek forgása közben fellépő veszteségek növelik a hajtómű veszteségeit. Ezen veszteségek számítása az összetett áramlási viszonyok miatt nehéz. Ennek ellenére számos kutató foglalkozott a témával. Niemann szerint [4] az olajkavarási veszteség közelítőleg az alábbi összefüggéssel határozható meg

$$P_l = (2.72 \cdot 10^6)^{-1} \cdot b \cdot b_m \cdot v^3 \quad (2)$$

#### Légkavarás okozta veszteségek ( $P_{lv}$ )

A légkavarás okozta veszteség elsősorban nagy fordulatszámú hajtóművekben jelentkezik. A forgás következtében a hajtóműben a fogaskerekre tapadt olaj leválik és olajködöt hoz létre. Ez az olajköd, amellyel, hogy keni a hajtómű elemeit teljesítményvesztést is okoz. Jellemzője, hogy általában nem függ az átvitt teljesítménytől [12].

#### Tömítéssúrlódási veszteségek ( $P_{ts}$ )

A hajtóművek tengelyein lévő tömítések hajtás közben nyomatékvesztést okoznak. Ezek a veszteségek függetlenek az átvitt teljesítménytől. Értékük elsősorban a tömítés kialakításától, a tömítéssel érintkező felületek jellemzőitől, a kenési viszonyoktól és a hőmérséklettől függenek. Meghatározása a tribológia területéhez tartozik. A gyakorlat szempontjából gyakran elegendő közelítő értékek meghatározása is.

## 4. Légellenállás

A légellenállás kiszámításához alapvetően két módszer alkalmazható kellő pontossággal, az egyik a szélcsatorna mérése, a másik a számszerű szimuláció. A szélcsatorna mérései általában nagy térfogatot

igényelnek, hogy megvizsgálják az áramlás testre gyakorolt hatását. A szélcsatornába beilleszthető modell felépítése költséges, azonban a valós életben mért értéket ismerni kell. A numerikus szimulációkhoz könnyebb új járműgeometriákat felépíteni, és a tesztelés a gyártás előtt megtörténik. Bár ezeknek a szimulációknak a pontossága mindig megkérdőjelezhető, ezért a modelleket validálni kell. Az áramló közeg sebességének és sűrűségének ismeretében kiszámítható a dinamikus nyomás. A húzóerőt elosztva a dinamikus nyomással és a felülettel, megkapjuk a légellenállási tényezőt:

$$C_D = F_D \cdot (A_x \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v_x^2)^{-1} \quad (3)$$

A nyomási tényező a szabad áramlás és a test felülete közötti statikus nyomáskülönbség és a dinamikus nyomás hányadosa. A nyomási tényező ( $C_p$ ) a statikus nyomáskülönbség és a dinamikus nyomás arányát fejezi ki. A statikus nyomáskülönbséget az objektum és a szabadáram között mérik [13].

$$C_p = (p_b - p_a) \cdot (0.5 \cdot \rho \cdot v_x^2)^{-1} \quad (4)$$

Kutatók kimutatták, hogy a nagyobb tompa alakú járműveken, a súrlódást jelentősen csökkenthetjük a védőcsövekkel. Egy vontató légellenállása 26,5% -kal csökkent, ami 13,4%-os üzemanyagfogyasztás csökkenéshez vezetett. A bemeneti adatokat kis sebességű szélcsatornán gyűjtötték össze, részecskekép-sebességmérési módszerrel kombinálva [14]. Egy versenyautó „hátsó alsórész” alakjának optimalizálásával sikerült növelni egy versenyautó teljesítményét. A légellenállás értékét 22% -kal sikerült csökkenteniük. Az alap ötlet az volt, hogy a nagy alacsony nyomású zóna hatására nyomóellenállás alakul ki, és alak módosításával ez a nyomászóna csökken [15]. Más szerzők megállapították, hogy egy autó 0,346 aerodinamikai ellenállási tényezője egy aktív spalettarács vezérlőmechanizmus használatával csökkenthető. Ez a megoldás nagy sebességnél 2,91% -kal csökkentheti a gépkocsi légellenállását, ami csökkentheti az üzemanyag-fogyasztást is [16].

## Összefoglalás

Jelenlegi cikkünk célja, hogy kiemeljük azokat a kritikus pontokat, amelyek veszteségeket okozhatnak, és megmutassuk, hogyan lehet ezeket becsülni. További céljaink, hogy veszteségi együtthatók és számítási módszerek álljanak rendelkezésre a jármű-energetikai modellezéshez.

## Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Innovációs és Technológiai Minisztérium által meghirdetett Tématerületi Kiválósági Program ED\_18-1-2019-0028 számon támogatta, a Debreceni Egyetem (Járműipar) tématerületi programja keretében.

## Hivatkozások

- [1] U.S. Department of Energy. 2000. *“Technology Roadmap for the 21st Century Truck Program, a government---industry research partnership.”* Technical Report 21CT---001, December.
- [2] Thomas D. Gillespie: *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers, 1992.

- [3] Duda, M.: *Der geometrische Verlustbeiwert und die Verlustunsymmetrie bei geradverzahnten Stirnradgetrieben*, Forschung im Ingenieurwesen 37 VDI-Verlag, 1971
- [4] Niemann, G., Winter, H.: *Maschinenelemente*. Springer, Berlin, 1989
- [5] Dirk Strasser: *Einfluss des Zahnflanken- und Zahnkopfspringes auf die Leerlaufverlustleistung von Zahnradgetrieben*, Dissertation zur Erlangung des Grades Doktor-Ingenieur, Fakultät für Maschinenbau, Ruhr-Universität Bochum, 2005
- [6] Polák József, Vida Bálint: *Hajtómű részterhelésének veszteségvizsgálata és annak jelentősége*. Budapest : IFFK 2013 Budapest, 2013. ISBN 978-963-88875-3-5.
- [7] Mihály Kozma: *Friction loss of gears*, Machine, October-November 2004
- [8] Stribeck, R.: *Kugellager für beliebige Belastungen*, VDI Zeitschrift, Band 45, Heft 3, seite. 73 – 79, 1901
- [9] Palmgren, A.: *Neue Untersuchungen über Energieverluste in Wälzlagern*, VDI Berichte, Band 20, seite 117 – 121, 1957
- [10] Koryciak, J.: *Einfluss der Ölmenge auf das Reibmoment von Wälzlagern mit Linienberührung*, Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2007
- [11] *The SKF model for calculating the frictional moment*. www.skf.com Download Date:2020. 01.28.
- [12] Anderson, N.E., Loewenthal, S. H., "Design of Spur Gears for Improved Efficiency," ASME, JMD, Vol. 104, pp. 767-774, 1982.
- [12] E. Jacuzzi and K. Granlund, "Passive flow control for drag reduction in vehicle platoons," J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., vol. 189, no. March, pp. 104–117, 2019, doi: 10.1016/j.jweia.2019.03.001.
- [13] J. J. Kim, J. Kim, T. Hann, D. Kim, H. S. Roh, and S. J. Lee, "Considerable drag reduction and fuel saving of a tractor-trailer using additive aerodynamic devices," J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., vol. 191, no. March, pp. 54–62, 2019, doi: 10.1016/j.jweia.2019.05.017.
- [14] S. M. Rakibul Hassan, T. Islam, M. Ali, and M. Q. Islam, "Numerical study on aerodynamic drag reduction of racing cars," Procedia Eng., vol. 90, pp. 308–313, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.854.
- [15] J. Li, Y. Deng, Y. Wang, C. Su, and X. Liu, "CFD-Based research on control strategy of the opening of Active Grille Shutter on automobile," Case Stud. Therm. Eng., vol. 12, no. May, pp. 390–395, 2018, doi: 10.1016/j.csite.2018.05.009.