

Lefutott gépkocsik eladásának művészete, avagy még mire lehet alkalmas egy mechanikai kopásgörbe?

A motorhibás, de még működőképes járművek problémakörének elemzése sok gyakorlati elemet tárgyal, és a matematikai összefüggések felhasználásával segít a vitás ügyek rendezésében. Kiemelt körülmény, hogy ha a bekövetkezett motorhiba az adásvételt követően nem sokkal, de már az új tulajdonosok használatában következett be. Ilyenkor joggal merül fel a gyanú, hogy a gépkocsi már az adásvétel pillanatában sem volt olyan műszaki állapotban, mint amilyenek az eladó beállította: "a kocsival nincs semmilyen probléma."

Ozsvár Zoltán

Igazságügyi gépjárműszakértő
e-mail: ozsvar.zoltan56@gmail.com

1. BEVEZETŐ

A gépjárművek javításában, karbantartásában eltöltött több mint negyven év, valamint az igazságügyi szakértői tevékenységgel együtt járó különböző szakmai feladatok gyakran készítetnek olyan módszerek alkalmazására, amelyekben speciális szerepet játszik a logikai összefüggések feltárása és a matematikai módszerek alkalmazása. A „megszállott” műszaki igazságügyi szakértő ember képes éjjel és nappal egy és ugyanazon problémán elmélkedni a felvetődött kérdéskörre összpontosítva, ilyenkor azonban, nem lehet figyelmen kívül hagyni azt a „bizonyos időfaktort” sem!

A közelmúltban egymás után kétszer is sikerült olyan ügyekben közreműködnöm, amelyekben az eladónak alkalma volt piaci áron megszabadulni a motorhibás, de még működőképes járművüktől. Mindkét esetben a vevők jártak pórul, mivel a gépkocsik motorjának tönkremenetele az adásvételt követően nem sokkal, de már az új tulajdonosok használatában következett be. Mindkét esetben a hiba oka kenési elégtelenség volt, aminek következtében a főtengeley és a

hajtórúd siklócsapágyazása rágódott be, ezzel tönkretéve a motor főtengeleyét is. Ilyenkor az új tulajdonosokban joggal merül fel a gyanú, hogy a gépkocsijuk már az adásvétel pillanatában sem volt olyan műszaki állapotban, mint amilyenről az eladó akkor beszélt, hozzáátéve azt is, hogy a kocsival semmilyen probléma nincs, és az olajcseréig még legalább 10 000 km-t lehet autózni. Mindkét eset komplett motorcserével végződött.

A belső égésű motor nagyon sok elemből áll, ezek nagy része forgó - kopó alkatrész, amelyek véges élettartammal rendelkeznek. Korunk járműtervezési koncepciója az, hogy az alkatrészek élettartama minden szinten közelítsen egymáshoz. A cél, hogy a rendszeren belül az üzemszerű használat és karbantartás mellett az alrendszerek végső tönkremenetele közel egy időben következze be. De hát „ami forog, az kopik is”, – fiatal korban gyakran hallottam az „öreg szakiktól” ezt a közmondásba hajló sajátos szakmai kifejezést.

Amikor az ember ott áll egy szétbontott motor felett azzal szembesülve, hogy a motor elemei tönkrementek, és tisztában van azzal is, hogy

milyen okok vezettek erre az állapotra, azonnal felmerül a kérdés, **hogyan lehet bizonyítani a már lejátszódott folyamat részleteit?** A megoldáshoz vezető logikus lépés az, hogy – **a hibás, kopott alkatrész – összes mechanikai jellemzője mérhető.** Ebben a körben már könnyen utána nézhetünk **egy ugyanazon hibátlan alkatrész összes jellemzőinek, amelyekre viszonyítási alapként tekinthetünk.** Csak a **közben-ső állapot az ismeretlen, aminek paramétereit viszont már jó közelítéssel ki lehet számítani.**

Az adott alkatrésztől környezetének ismeretében lehet eldönteni, hogy az alakjában, méreteiben, esetleg anyagának szerkezetében meddig tekinthető funkcióképes, működő elemnek, és mi az a határérték, küszöbszám, amitől már jobb, ha selejtről beszélünk. **Sok esetben megoldást jelenthet, ha az elkopott alkatrész vizsgálatához segítségül hívjuk a mechanikai kopásgörbe által biztosított lehetőségeket, és természetesen a mérések jelentőségét is figyelembe kell vennünk.** Kutatásunk célja az általunk vizsgált károsodási folyamatra jellemző információk begyűjtése, kiértékelése és feldolgozása.

A következőkben bemutatott módszerrel behatárolható egy időpont vagy konkrét futásteljesítmény, amitől a vizsgált alkatrész már nem tekinthető tovább működő elemnek, vagyis már nem képes arra, hogy funkcióját betöltve aktív részese legyen a rendszernek.

2. GÉPJÁRMŰMOTOR-ALKATRÉSZEK KOPÁSGÖRBÉINEK KÖZELÍTŐ LEÍRÁSA POLINOMOKKAL

Az érintkező, elmozduló felületeknél a folyamatos anyagleválás, a kopás természetes folyamat. A kopás mértéke és a felületek geometriai átalakulása elsősorban az érintkező felületek anyagpárosításától, a kenésállapottól, a terheléstől, a felületek geometriai és érdességi viszonyától, a csúszási sebességtől és a hőmérséklettől függ [1].

A gépjárműmotorokban élettartamuk során számos kopási folyamatot figyelhetünk meg. Jellemzően fém alkatrészek közötti kopásmechanizmusról van szó: adhézió, abrázió és felületi kifáradás [2]. A gyakorlatban a belső égésű motorok esetében a következő elhasználódások a tipikusak [3]:

- a forgattyús csap és hajtórúd kopása,
- a hengerfal és dugattyúgyűrű kopása,
- a vezérműtengely és szelephimba kopása.

Ha az előbbieket közül valamelyik elér egy kritikus szintet, akkor az más szerkezeti elemeket is veszélyeztethet, és a motor működésképtelenné válhat. Ezért fontos a motorban lezajló tipikus kopási folyamatok ismerete és matematikai leírása. A további fejezetek a gépjárműmotorok jellegzetes kopásgörbéit mutatják be, valamint egyszerű analitikus módszert adnak meg a leggörbe polinomokkal történő leírására.

3. KOPÁS JELLEGGÖRBÉK

A kopást a leváló anyagmennyiséggel szokás jellemezni: a leváló anyag tömegével vagy jellegzetes geometria esetén egy bizonyos paraméter változásának mértékével – pl. tengely esetén az átmérő változásával.

A kopás mennyisége az alkatrész üzemidejének vagy ezzel összefüggő jellemzőjének (pl. megtett fordulat) függvényében vizsgálható annak érdekében, hogy képet kapjunk a folyamat jellegéről az alkatrész élettartama alatt. A kopás jellegét mutatja az 1. ábra [2],[5].

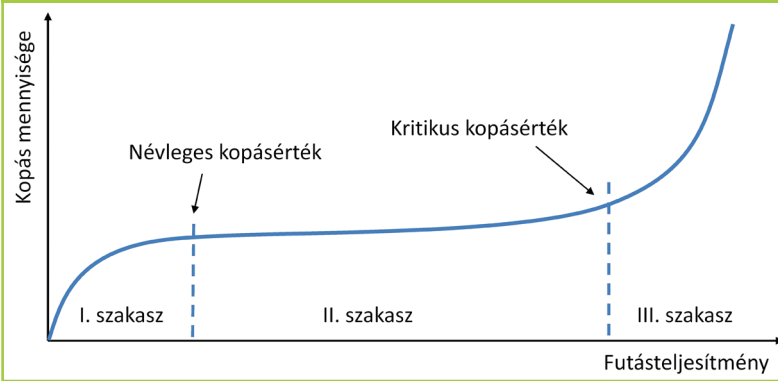
Az élettartam során három jellegzetes szakasz különböztethető meg:

- I. szakasz: bejáratás szakasza, az élettartamhoz képest rövid idő alatt bekövetkezik (jellemzően degresszív karakterisztika),
- II. szakasz: üzemszerű kopás, az élettartam nagy részére jellemző (lineáris karakterisztika),
- III. szakasz: a kritikus kopásérték után a kopás felgyorsul, megkezdődik az alkatrész tönkremenetele, az alkatrész nem képes el látni funkcióját (progresszív karakterisztika).

A kopás jellegének pontos ismerete és ennek alapján az alkatrész várható élettartamának kiszámítása kiemelten fontos az anyagmunkálás területén is. Jelentős szakirodalom foglalkozik a forgácsolószerszámok kopásgörbéivel – lásd például [5] és [6] irodalmakat.

Az [5] irodalom a kopásgörbe egy exponenciális függvénnyel történő közelítését adja meg:

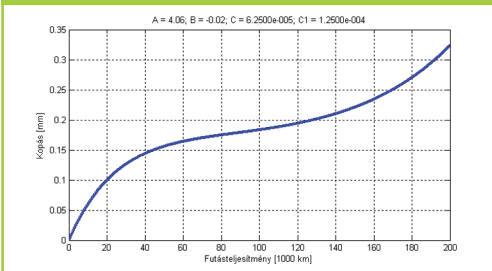
1. ábra: Jellegzetes kopásgörbe



$$w(t) = C_1 \cdot t \cdot e^{(A+B \cdot t+C \cdot t^2)} \quad (1)$$

A leírás legfőbb problémája, hogy az üzemi kopás jellegzetes lineáris középső szakasza nem jelenik meg. A motorkopások vizsgálatánál különösen fontos, hogy a kritikus kopás jól azonosítható legyen. Egy motoralkatrész jellegzetes kopásadataira illesztett görbét mutat a 2. ábra.

2. ábra: Exponenciális kopásgörbe motoralkatrész kopására illesztve



Gépjárműmotor-alkatrész kopással foglalkozik a [4] cikk. Az ott használt közelítés szintén exponenciális tagokból áll:

$$w(t) = c + \frac{\delta_w}{\delta_t} + a_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{b_1}}\right) + a_2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{b_2}}\right) \quad (2)$$

A közelítés kielégítően csak a bejaratás szakaszát írja le, így az élettartam becslésére, a kritikus ko-

pás leírására nem alkalmas. A bejaratási szakasz nemlineáris regressziós közelítését mutatja be vezérmű láncnál a 3. ábra.

4. GÉPJÁRMŰ-MOTOR KOPÁSGÖRBÉK KÖZELÍTŐ LEÍRÁSA

Gépjárműmotorok esetében a kopásokat célszerű a jármű-futástel-

jesítmény függvényében vizsgálni. A motor jellegzetes kopási helyein a kenést a motorolaj biztosítja. A gyártásból adódó felületi érdességek a jármű bejaratási időszaka alatt az üzemi értékre kopnak – ez a bejaratási szakasz. Ha az olajkenés a teljes élettartam alatt megfelelően biztosított, az alkatrészek tönkremenetele a kritikus kopásérték elérése után kezdődik meg. Eddig a pontig pedig a kopás (üzemszerű kopás) mértéke arányos a futásteljesítménnyel [3][4].

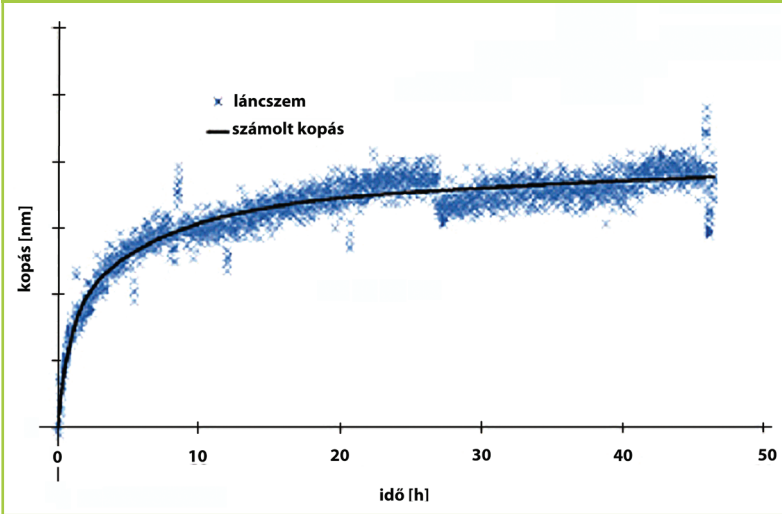
Közelítsük a kopásgörbe I. és III. szakaszát másodfokú polinommal, a II. szakaszát pedig egyenessel (4. ábra). Tekintsük továbbá ismertnek a görbe jellegzetes pontjait, amelyek legyenek egyben az egyes szakaszok csatlakozási pontjai is:

- a görbe az origóból indul $(x_0, y_0) = (0, 0)$,
- névleges kopásérték: (x_1, y_1) ,
- kritikus kopásérték: (x_2, y_2) ,
- tönkremenetelkor rögzített kopás: (x_3, y_3) .

Feltételezzük továbbá, hogy $x_1 \neq 0$ és $x_1 \neq x_2$. A kopásgörbét tehát az alábbi módon írhatjuk le:

$$y(x) = \begin{cases} f_1(x), & x_0 \leq x < x_1 \\ f_2(x), & x_1 \leq x < x_2 \\ f_3(x), & x_2 \leq x \end{cases} \quad (3)$$

3. ábra: Vezérműlánc kopásgörbe bejárati szakaszának közelítése [4]



A három függvény:

$$f_1(x) = a_1 \cdot x^2 + b_1 \cdot x + c_1 \quad (4)$$

$$f_2(x) = b_2 \cdot x + c_2 \quad (5)$$

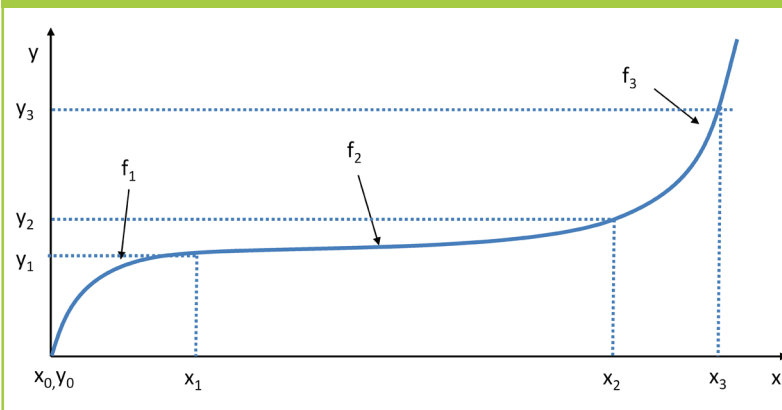
$$f_3(x) = a_3 \cdot x^2 + b_3 \cdot x + c_3 \quad (6)$$

egyenletből álló egyenletrendszer megoldására van szükség:

$$f_1(x_0)=y_0; f_1(x_1)=y_1; f_2(x_1)=y_1; f_2(x_2)=y_2; \quad (7)$$

$$f_3(x_2)=y_2; f_3(x_3)=y_3; f'_1(x_1)=f'_2(x_1); f'_2(x_2)=f'_3(x_2) \quad (8)$$

4. ábra: Gépjárműmotor kopásgörbe a jellegzetes pontokkal



Biztosítjuk azt is, hogy az $y(x)$ függvény értelmezési tartományán minden pontban folytonos és folytonosan differenciálható függvény legyen. Ekkor, a jelleggörbének nem lesznek szakadáspontjai és az $f_i(x)$ függvények csat-

lakozási pontjaiknál a szomszédos függvények azonos értéket vesznek fel, és elsőrendű deriváltjaik is azonosak (geometriailag ezen függvénygörbéket érintő egyenesek is egybe esnek).

Figyelembe véve az ismert pontokat, illetve a csatlakozási pontokra vonatkozó fenti megköteléseket, a görbe (a_i, b_i, c_i) paramétereinek meghatározásához az alábbi nyolc különböző

Akeresettparaméterek: $a_1, b_1, c_1, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3$. A nyolc egyenlet, a nyolc ismeretlen paramétert tekintve lineáris inhomogén egyenletrendszert alkot. Az együttható mátrix vektorai, a gyakorlatban megfelelő kezdeti feltételek mellett lineárisan független rendszert alkotnak, így a probléma egyértelműen megoldható a valós számok körében.

A feladat praktikusán több, egymástól elkülöníthető részre is bontható, ahol elsőként az egyenes szakasz egyenlete határozható meg a legegyszerűbben. Ezt követően a függvények csatlakozási pontjaiban a deriváltakra vonat-

kozó egyenletrendszerek megoldását célszerű elvégezni. Végül a kopásgörbe III. szakaszának paramétereire a vonatkozó egyenletrendszer megoldásával kapjuk meg az alábbi mátrix egyenletet:

$$\begin{bmatrix} x_2^2 & x_2 & 1 \\ x_3^2 & x_3 & 1 \\ 2x_2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_3 \\ b_3 \\ c_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_2 \\ y_3 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

amelynél p az alábbi vektor:

$$p = X^T y \quad (10)$$

és ez kiszámítható Maple computer algebrai módszer segítségével, például a [7,8,9], vagy a [10] irodalom alatt elérhető Wolfram Alpha weboldalon.

$$p = \begin{bmatrix} a_3 \\ b_3 \\ c_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{(x_2 - x_3)^2} \begin{pmatrix} b_2 x_2 - b_2 x_3 - y_2 + y_3 \\ -b_2 x_2^2 + 2 y_2 x_2 - 2 y_3 x_2 + b_2 x_3^2 \\ b_2 x_3 x_2^2 + y_3 x_2^2 - b_2 x_3^2 x_2 - 2 x_3 y_2 x_2 + x_3^2 y_2 \end{pmatrix} \quad (11)$$

Fentiekre támaszkodva, egy konkrét esetben a gépjárműmotor kopásgörbéjére jellemzők a következő kiindulási értékeket:

$$\begin{aligned} x_1 &= 10; y_1 = 0.2 \\ x_2 &= 175; y_2 = 0.3 \\ x_3 &= 194; y_3 = 0.6 \end{aligned}$$

A kiindulási értékekből a fenti módon, a három függvény paraméterei meghatározhatók, és a kiszámolt paraméterértékekkel a kopásgörbe az 5. ábrán látható.

Az adott kopásokkal rendelkező selejt alkatrészről a görbe alapján meghatározható olyan paraméter, amit a kopás folyamatában már küszöbértéknek tekinthetünk. Ettől az értéktől a függvény exponenciálisan növekvő tendenciát mutat, és a vizsgált alkatrész élettartama gyorsan közeledik a vége felé.

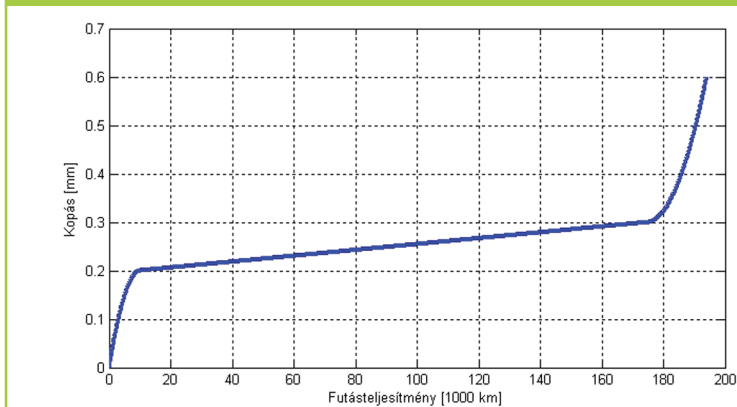
5. KONKLÚZIÓ

A cikk címe sugallhatja, hogy hazánkban a használt gépkocsit vásárló átlagemberek kiszolgáltatottsága nem csökkent, és még egy ideig nem is fog. Bár erről nem született még pontos statisztika, de a tapasztalatok szerint minden tízedik használt gépjármű-adásvétel torkollik vitába és ezen ügyek nagy része általában a polgári bíróságokon végzi. Gyakorló szakértőként az életből merítem a példát. A BME szakmérnöki matematika kurzuson megismert anyag segített megtalálni a megoldáshoz vezető utat [11].

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Zsáry Árpád: Gépelemek I, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999
- [2] Dr. Horák Péter: Tribológia, BME Gép és Terméktervezés Tanszék, oktatási segédlet Gépelemek 2 c. tárgyhoz, 2012
- [3] Szabó József Zoltán: Belsőégésű motor főbb alkatrészeinek tönkremenetele és javítása, Óbudai Egyetem, oktatási segédlet Gépjármű diagnosztika c. tantárgyhoz, 2013
- [4] Dr. Mathias Roman Dreyer, Gergye Tamás: Tribológiai vizsgálatok belső égésű motorokon, A jövő járműve c. folyóirat 2012 01/02. szám
- [5] <http://www.forgacsolaskutatas.hu/elmelet/kopasgorbe>
- [6] Dr. Szabó László: Forgácsolás, hegesztés, online segédlet, Miskolci Egyetem, 2000. <http://www.uni-miskolc.hu/~wwwfemsz/forg2.htm>

5. ábra: Példa a polinomokkal közelített gépjárműmotor kopásgörbére



- [7] T. Péter, E. Zibolen: Analysis of model in vehicle dynamics in computer algebraic environment. Proceedings of the 6th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, VSDIA'98. 564 p. Budapest, 1998.11.09-1998.11.11. Budapest University of Technology and Economics, 2000. pp. 305-314. (Proceedings of the 6th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, VSDIA'98).(ISBN:963-420-635-2)
- [8] T., Péter, I., Lakatos, F. Szauter: Analysis of the complex environmental impact on urban trajectories, ASME/IEEE International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA) 2015. August 2-5, 2015, Boston, Massachusetts, USA, DETC2015-47077, pp. 1-7.
- [9] F., Szauter, T., Péter, J., Bokor: Complex analysis of the dynamic effects of car population along the trajectories, ASME/IEEE International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA) 2015. August 2-5, 2015, Boston, Massachusetts, USA, DETC2015-47075, pp. 1-6.
- [10] Wolfram Alpha, www.wolframalpha.com
- [11] Dr. Péter Tamás: Matematika. Szakmérnöki matematika előadások, nemlineáris regressziós módszerek. 2015. BME, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar



The art of the selling of run down cars – or what could be the use of a mechanical wear diagram?

The publication discusses the application of different professional tasks and methods associated with the use of forensic activities related to motor vehicle failures. It focuses on the exploration of specific correlations and the issues raised at the application of mathematical methods.



Die Kunst des Verkaufens von heruntergekommenen Autos - oder für was noch könnte die Verwendung einer mechanischen Verschleißkurve geeignet sein?

Die Veröffentlichung beschreibt die Anwendung von unterschiedlichen beruflichen Aufgaben und Methoden der forensischen Aktivitäten im Zusammenhang mit den Kraftfahrzeugdefekten. Es konzentriert sich auf die Erforschung von spezifischen Zusammenhängen und die bei der Anwendung von mathematischen Methoden aufgeworfenen Fragen.

KTE