

# ÉKSZÍJ BELSŐ SÚRLÓDÁSI VESZTESÉGÉNEK VIZSGÁLATA ÜZEMHASONLÓ KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

## INNER FRICTION LOSS INVESTIGATION OF V-BELTS NEAR OPERATIONAL CONDITIONS

Gárdonyi Péter, Dr. Kátai László Ph.D, Dr. Szabó István Ph.D., Balassa Zsolt  
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar

### ABSTRACT

The main objective of this paper is to analyze the temperature conditions of V-belt by infrared thermal camera depending on different pulley diameters. The speed ratio needed for a certain V-belt drive can be solved with wide spectrum of pulley diameters. The minimum diameter is defined by the standard and the maximum diameter is limited by the allowable belt speed. In this study, an experimental method was developed to define the V-belt temperature increase in function of pulley diameter in order to select the optimum pulley size.

Keywords: V-belt, infrared thermal analysis, temperature conditions

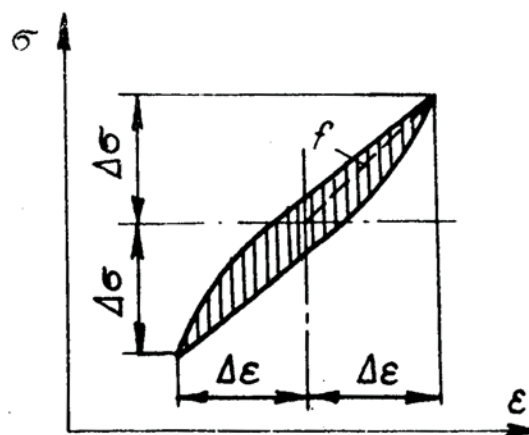
### 1. BEVEZETÉS

Az ékszíjhajtással előnyösen rugalmas és rezgéscsillapító teljesítmény-átvitel hozható létre, amely a hajtáselemek erőzárásának, illetve az ékszíz viszkóelasztikus anyagtulajdonságának köszönhető. A veszteségek alapvetően visszavezethetők a hajtás említett sajátosságaira, amelynek egy bizonyos hányada hő formájában jelenik meg és növeli az ékszíz hőfokát. Az ékszíjak hőfejlődésével kapcsolatos kutatásokat két csoportra bonthatjuk, a szíz felületi és belső súrlódásából származó melegedés vizsgálatokra. Ha az ékszíz hőmérsékletét vizsgáljuk, mint veszteségintenzitást, abból következtetni lehet a szíjhajtás hatásfokára. A szíjhőmérséklet nem csak a hajtás veszteségét határozza meg, befolyásolja az ékszíz élettartamát is.

A kísérleteink célja a rugalmas vonóelem hajlításkor jelentkező veszteség vizsgálata a szíz hőmérséklet-emelkedése által. A szíjhajlításból származó hőfejlődést üzemhasonló körülmények között, valós ékszíjakkal határoztuk meg.

### 2. AZ ÉKSZÍJHŐMÉRSÉKLET ÉS A BELSŐ SÚRLÓDÁS ELEMZÉSE

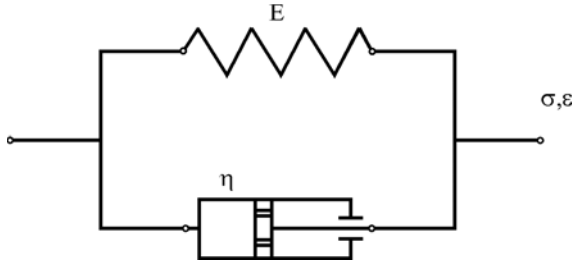
A szíjhajtások hajlítási vesztesége szempontjából meghatározó a szíjkeresztmetszet alakját adó magkeverék viselkedése. A gumi tulajdonságai statikus és dinamikus terheléskor különböznek. A rugalmas hajtószíjakat felépítő gumikeverék munkaképességét a dinamikus rugalmassági modulusa, a kifáradási határa és az ismétlődő igénybevételek során fellépő hiszterézis veszteségek határozzák meg. A hiszterézis görbe által bezárt terület azonos az egy terhelési ciklus alatt hővé alakuló veszteséggel (1. ábra). Ezt a hőveszteséget a molekuláris belső súrlódás okozza [7]. A keletkező hő növeli az ékszíz hőfokát. Az ékszíjhajtásoknál jelentkező ismétlődő igénybevétel a szíjágakban ébredő húzóerők különbsége ( $T_1 - T_2 = F_t$ ), és az ékszíz hajlításkor a szíjtárcsa átmérőjére (a szíz fel- és lefutás tartományban), amelynek a frekvenciája megegyezik az szíjhajlítási frekvenciával.



1. ábra. Hiszterézishurok a gumi ciklikus alakváltozásakor [7]

Az ékszíz reológiai tulajdonságainak ismerete igen lényeges a belső súrlódás elemzéséhez. Az ékszízban jelentkező hőterhelés egyik okozója az ismétlődő hajlító igénybevétel során jelentkező

veszteség, amelyet a belső súrlódás hoz létre. A deformáció ciklus alatt fejlődő hő függ az anyag belső súrlódásától, a deformáció nagyságától és a sebességétől. Ezt az ékszíjhajtás esetén a szíj anyaga (viszkoelasztikus tulajdonsága), a tárcsaátmérő és a szíjfrekvencia befolyásolja. Az ékszíjat viszkoelasztikus lineáris modellként kezelhetjük. A modell a 2. ábra szerint jellemezhető.



2. ábra. Az ékszíj mechanikai modellje [8]

A 2. ábrán látható modell egyenlete:

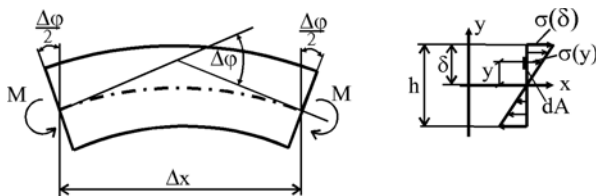
$$\sigma = E \cdot \varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2)$$

Az egyszerűbb felírás miatt bevezetve a  $\frac{d}{dt} = s$  operátort,

$$\sigma = E \cdot (1 + s \cdot \eta') \cdot \varepsilon = E(s) \cdot \varepsilon, \quad (3)$$

ahol  $E(s) = E(1 + s \cdot \eta')$  operátoros rugalmassági modulus, és  $\eta' = \frac{\eta}{E}$ .

A célkitűzésem között a hajlítás során keletkező melegezés meghatározását foglaltuk meg, így ennek megfelelően azt vizsgáljuk, hogy az adott viszkoelasztikus modell hogyan viselkedik a hajlító igénybevétel során. Egy  $\Delta x$  hosszúságú ékszíj szakasz hajlítása a 3. ábra szerint értelmezhető:



3. ábra. Az ékszíj szakasz hajlító igénybevételének értelmezése

Feltételezhető, hogy a feszültség és a nyúlás lineárisan változik, és ennek megfelelően a feszültség:

$$\sigma(y) = \sigma(\delta) \cdot \frac{y}{\delta} \quad (4)$$

a nyúlás pedig,

$$\varepsilon(y) = \frac{\varepsilon(\delta)}{\delta} \cdot y \quad (5)$$

Az elfordulás szöge a 3. ábra szerint:

$$\Delta\varphi = \varepsilon(\delta) \cdot \frac{\Delta x}{\delta} \quad (6)$$

A hajlítónyomaték a (4) és (5) összefüggések alapján:

$$M = \int_A \sigma(y) \cdot y dA = \frac{\sigma(\delta)}{\delta} \int_A y^2 dA = \frac{\sigma(\delta)}{\delta} \cdot K, \quad (7)$$

ahol:

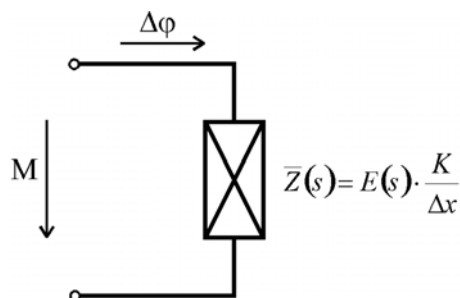
- A - az ékszíj keresztmetszet felülete [mm<sup>2</sup>];
- K - az ékszíj keresztmetszeti tényezője [mm<sup>3</sup>].

A fenti egyenletekből a nyomaték az alábbi alakban írható fel:

$$M = \left[ E(s) \cdot \frac{K}{\Delta x} \right] \cdot \Delta\varphi \quad (8)$$

Az ékszíj egy mechanikai impedanciaként értelmezhető, ahol az M nyomaték,  $\Delta\varphi$  szögelfordulásnak megfelelő "áramot" hoz létre, a 4. ábra szerint [8]:

$$\bar{Z}(s) = E(s) \cdot \frac{K}{\Delta x} \quad (9)$$



4. ábra. Az ékszíj mechanikai impedanciaként történő értelmezése [8]

### 3. A VIZSGÁLAT ÉRTÉKELÉSE, EREDMÉNYEK

Az ékszíj hajlítgatás vizsgálatát üzemhasonló körülmények között, 5 tárcsaátmérővel ( $d = 90; 112; 132; 150; 180$  mm) és SPA keskenyprofilú burkolt ékszíjjal hajtottuk végre. A kísérleteink során az ékszíj szíjtárcsa hornyával érintkező oldalfelületeiről készítettünk hőkamerás felvételeket. Az üzemszerűen felfekvő felületek hőátadása miatt a hajlítgatás hatására fellépő hőfejlődés kevésbé figyelhető meg, valamint a szíj ékhoronyba történő be-, illetve kilépésekor bekövetkező súrlódás is hőt termel. A hőelvonás és a súrlódás problémájának kiküszöbölésére az ékszíjat laposszíjtárcsára futtatjuk fel (5. ábra). Ezzel a kísérleti módszerrel a szíjhajlítgatás valóságos körülmények között vizsgálható.



5. ábra A kísérleti elrendezés

A szíjtárcsa műanyagból (PA 6.6) készült, amelynek gyenge hővezetési tulajdonsága kevésbé befolyásolta a vizsgált jelenséget. A szíjtárcsa átmérőket akkorára határoztuk meg, hogy az ékszíj mozgáspályája megegyezett a szabványos ékszíjtárcsákon befutott mozgáspályával.

Az ékszíj aktív felületéről készült hőkamerás felvételekből képfeldolgozás után nyertünk hőmérsékleti adatokat. Az ékszíj oldalfelületének hőmérséklet-eloszlását, valamint az átlaghőmérsékletét vizsgáltuk. A szíj hőmérséklet-emelkedéséből meghatároztuk a hajlítgatási sugár és a hőmérséklet kapcsolatát.

A 6. ábrán az aktív szíjoldal átlaghőmérsékletének emelkedését mutatjuk be a tárcsaátmérő függvényében, valamint a függvényillesztéseket adott előfeszítés ( $F_H = 300\text{N}$ ) és szíjfrekvencia ( $f = 20\text{ s}^{-1}$ ) beállítások mellett. A matematikai modellt, a szíjban keletkező hajlító igénybevétel

$$\sigma_{hajl} = E_{hajl} + \frac{s}{d} \quad (10)$$

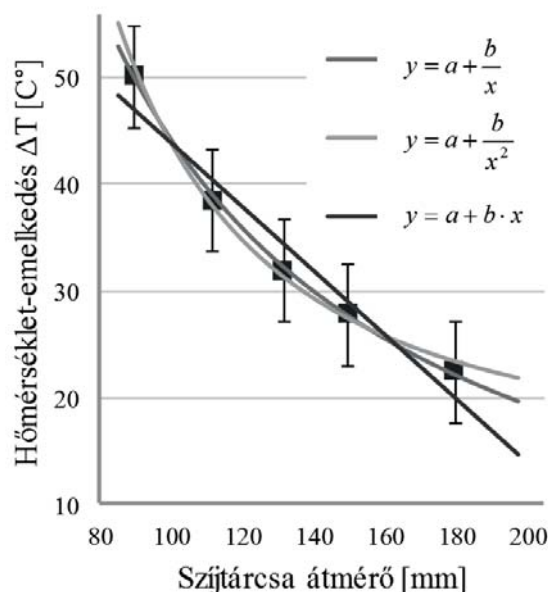
elméleti összefüggésének megfelelően,

$$\Delta T = \frac{a}{d} \quad (11)$$

és

$$\Delta T = \frac{c}{d^2} \quad (12)$$

függvény formájában, valamint lineáris illesztéssel kerestük.



6. ábra Az ékszíj hőmérséklet-emelkedése a tárcsaátmérő függvényében

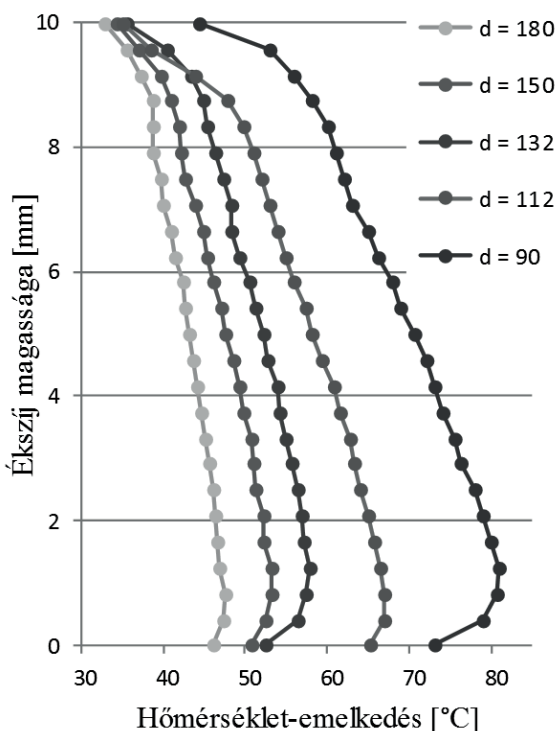
Az alkalmazott modellek mindegyike megfelelő pontossággal írja le a kapcsolatot, viszont a lineáris illesztés  $d = 200$  mm tárcsaátmérő felett már nem értelmezhető, a hőmérsékletváltozás negatív értéket vesz fel. A megfelelő függvény kiválasztásánál a kellő pontosságú és emellett a legegyszerűbb modellt szem előtt tartva, az 1. táblázat alapján az  $y = a + b / x$  matematikai modell mellett döntöttünk. A kiválasztott modell alapján a szíjhőmérsékletet a hajlítgatás sugara (szíjtárcsa átmérője) fordított arányban befolyásolja, azaz minél kisebb az átmérő, annál nagyobb a hőfejlődés.

1. táblázat. A tárcsaátmérő és az ékszíj hőmérséklet-emelkedését leíró modell konstans értékei, valamint a regressziós együtthatók

függvény	a	b	$r^2$
$y = a + \frac{b}{x}$	-5,442	4965,453	0,9988
$y = a + \frac{b}{x^2}$	14,386	293769,43	0,9949
$y = a + b \cdot x$	73,861	-0,2992566	0,9441

A hőkamerás felvételekből nem csak a szíjoldal átlaghőmérsékletét lehet meghatározni, hanem

lehetőség nyílik az ékszíj magassága menti hőmérséklet eloszlásának elemzésére.



7. ábra Az ékszíj oldal felületének hőmérséklet eloszlása

A 7. ábrán látható, hogy a felső borító gumirétegtől az ékszíj alsó magrésze felé haladva intenzívebb a hőfejlődés. A hajlítgatás sugarának csökkentésével (az adott szíjprofilra megengedett legkisebb szíjtárcsa átmérőig) nagyobb mértékű a hőmérséklet-változás a szíjkeresztmetszet magassága mentén. A hőmérséklet-különbséget a szíjhajlítgatás során előállt hiszterézis veszteség idézi elő. Kísérleti beállításonként a szíjkeresztmetszet minden pontjában az igénybevétel gyakorisága azonos, csak a hajlítgatásból származó alakváltozás nagysága tér el. Ebből adódóan az ékszíj oldalának hőmérséklet-eloszlása hasonló jellegű, mint a keresztmetszetében kialakuló hajlítófeszültség.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ékszíjhajtás teljesítmény átvitel nélkül is emészt fel energiát főként azzal, hogy az ékszíj a tárcsára történő fel, illetve lefutáskor hajlítgatásnak van kitéve. Az ismételt igénybevételnek kitett gumi gépelemek hőfejlődése függ az anyag belső súrlódásától, a deformáció nagyságától és sebességétől. Az ékszíjhajtás esetén a szíj struktúrája (viszkoelasztikus tulajdonsága), a tárcsaátmérő és a szíjprofil, valamint a szíjfrekvencia a legfontosabb befolyásoló tényező. A kísérletek eredményeiből meghatároztuk, hogy a szíjtárcsa átmérője és a szíjhőmérséklet (hajlítgatási

veszteség) fordítottan arányos, azaz minél kisebb a hajlítgatás sugara, annál nagyobb a hőfejlődés. Az ékszíj oldalának hőterkép elemzéséből megállapítottuk, hogy a hajlítgatás hiszterézis vesztesége számottevően a szíjkeresztmetszet első magkeverékében keletkezik.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Arntz-Optibelt KG.: Technisches Handbuch für Optibelt-Antriebsselemente. H.n., I.k., É.n.

[2] Gárdonyi P., Kátai L., Szabó I.: Szíjhajlítgatás kísérleti módszerének fejlesztése a hajtás veszteségeinek meghatározására, GÉP 66. évf. 5-6. szám, Miskolc, 2015. pp. 47-50

[3] Nagy D., Szendrő P., Bense L., STUDY OF NON-METALLIC ROLLING-ELEMENT BEARINGS, International journal of science, technics and innovations for the industry, 2015, Vol. 12. pp. 41-45, ISSN 1313-0226

[4] Kátai L, Szabó I.: Hajtásbeállítás hatása az ékszíjak melegedési viszonyaira GÉP 61. évf. 9-10. szám, Miskolc, 2010. pp. 44-47

[5] Kátai L, Szabó I.: Identification of V-belt power losses with temperature measurement. JOURNAL OF MECHANICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY 29:(8) 2015. pp. 3195-3203.

[6] Kátai L.: Kötő- és támasztóelemek, Hajtások. In: Szendrő et.al.: Géptan. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2003. pp. 40-54

[7] Ponomarjov, Sz.D. (1966): Szilárdsági számítások a gépészetben 7.. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 350-357. o.

[8] Kátai, L., Szendrő, P., Vincze, Gy., Szabó, I.: Determination of Inner Viscosity of V-belts by Bending Test. In: Hungarian Agricultural Engineering, 14/2001 december pp.31-33.



EMBERI ERŐFORRÁSOK  
MINISZTERIUMA AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK  
MINISZTERIUMA ÚNKP-17-3 KÓDSZÁMÚ ÚJ  
NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK  
TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT