

# SZÍJAK TRANSZVERZÁLIS LENGÉSEINEK MÉRÉSÉRE ALKALMAS BERENDEZÉS KONCEPCIONÁLIS TERVEZÉSE

## CONCEPTUAL DESIGN OF EQUIPMENT SUITABLE FOR MEASURING TRANSVERSE VIBRATION OF BELTS

*Simon Gábor\**, *Dr. Rónai László\*\**

### ABSTRACT

*In this paper conceptual design of a belt vibration testing machine has been discussed. A literature review was given, which focused on the relevance of belt behavioral research. Two versions of the testbench are analyzed and compared. Both of them have disadvantages but the vertical one is more preferable.*

### 1. BEVEZETÉS

A szíjhajtások alkalmazása egészen az ókorig vezethető vissza, ekkor még hajtásátviteli elemként köteleket, esetleg bőrszíjakat használtak fel. A szíjhajtás központi eleme maga a szíj, mint gépelem, amely lehetővé teszi a fordulatszám módosítását a szíjtárcsák átmérőinek megfelelő megválasztásával. Alapvető működését és gépészeti jelentőségét részletesen tárgyalják gépelem-tervezési kézikönyvek [1], [2].

Jelentős fejlődést az I. ipari forradalom hozott, amikor a gőzgépek megjelentek. Ezekről a gépekről hosszú szíjakon keresztül hajtották meg az egyes aktuátorokat. Nem voltak ritkák a nagy kiterjedésű, akár 100 métert meghaladó hosszúságú laposszíjas rendszerek sem. A szíjhajtások fejlődését és modern értelmezését átfogóan tárgyalják különböző összefoglaló munkák [3], [4], valamint átfogó mérnöki kézikönyvek pl. [5].

A 19. század végére kezdték ezeket a hajtásokat finomítani, ekkor már a bőr mellett megjelentek a szövetalapú és gumírozott szíjak is. 1917-ben szabadalmaztatta a Gates Rubber Company az ékszíjat, amely igen nagy áttörésnek számított akkoriban a teljesítményátvitel fokozása terén. A szíjhajtások fejlődése szorosan összefügg az ipari alkalmazások igényeivel.

A 21. században sem hagyott alább a szíjhajtások iránti kereslet, de kiemelhető, hogy az elmúlt 100 évben történtek átrendeződések e téren. A gyárakban lévő ún. központi tengelyes (line shaft) rendszerek teljesen kiszorultak, helyüket az egyedi villamos hajtások [6] vették át. Hasonló tendencia figyelhető meg a textilipari gépek esetében is, ahol a korszerű, elektronikusan szabályozott egyedi hajtások kerültek előtérbe.

Vannak területek, ahol megmaradt a szíjhajtás, sőt még erősödni is tudott. Itt egyértelműen a járműipar emelhető ki, mivel a személyautóktól kezdve a haszon-, tehergépjárművekben szíjjakkal oldanak meg meghajtásokat elég csak a generátorra, a klímakompresszorra vagy a vezérműre gondolni. Itt kulcsfontosságú tervezési szempont a szíjak dinamikai viselkedésének vizsgálata [7]. Manapság a logisztika, élelmiszeripar területein is találhatók szíjhajtások. A szállítószalag rendszereknél különösen a transzverzális rezgések vizsgálata napjainkban is egy aktív kutatási területnek számít [8], [9]. A modern mechatronikai rendszerekben a fogasszíjak jelentősége fokozódott, mivel holtjátékmentes, jó dinamikai tulajdonságok jellemzik [2] a pozicionáló rendszerekben pl. a 3D-s nyomtatóknál nagy jelentőséggel bírnak.

A szíjak alkalmazásának sok előnye van [1], [2], általánosságban, ezek közül kiemelhető a kedvező költségük, a kis tömegük, csendes működésük, valamint rezgéscsillapító hatásuk, amelyek mellett erőzáró szíjakkal egyszerű túlterhelésvédelem is megvalósítható, mivel a túlterhelés esetén a szíj megcsúszik.

A szíjak dinamikai viselkedése, különösen axiálisan mozgó rendszerek esetén összetett jelenségeket mutat, amelyek vizsgálata a mai napig intenzív kutatások tárgyát képezi.

A [10] forrás lineáris hullámegyenleteken alapuló kezdeti-peremérték problémákat vizsgál, amelyek pl. szállítószalagok transzverzális rezgéseinek modellezésére használhatók. A szerzők olyan eseteket elemeznek, ahol a rendszer sebessége időben változik, a sebesség kicsi a hullámterjedési sebességhez képest. Kiemelik, hogy a szalag rezgései két típusba sorolhatók aszerint, hogy inkább húr- (string-like) vagy inkább rúdszerű (beam-like) [11] viselkedést mutatnak, ami a szalag hajlítómerevségétől függ. Ha a hajlítómerevség elhanyagolható, akkor a rendszer húr- (hullámszerű) jellegűnek tekinthető; ellenkező esetben rúdszerűnek minősül.

A [12] publikáció egy módszert ismertet a szalaghossz sajátfrekvenciáinak és egy pont keresztirányú elmozdulásának modellezésére és számítására egy segédhajtású rendszerben. A szalagot két csiga között axiálisan mozgó, viszkoelasztikus húrként egyszerűsítik,

\* mesteroktató, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

\*\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

a feszültség–nyúlás kapcsolatot viszkoelasztikus anyagmodell írja le. A számított eredményeket kísérleti mérésekkel is összevetették, és jó egyezést találtak, ami igazolja a módszer hatékonyságát. Ezen modell alapján vizsgálták a szalag merevségének és csillapításának hatását, és megállapították, hogy ezek növelése csökkenti a keresztirányú elmozdulásokat.

A [13] forrásban a szerzők egy kísérleti vizsgálatot mutatnak be egy axiálisan mozgó szíj keresztirányú nemlineáris rezgéseiről. A vizsgált szíj egyenletes, állandó sebességgel halad. A szerzők lézeres elmozdulásmérést is tartalmazó kísérleti rendszert terveztek és építettek, amelyben a szíj feszítése és a motor fordulatszáma változtatható. A mérések során megfigyelték a sajátfrekvencia, a feszítés és a sebesség közötti kapcsolatot, valamint a szalag keresztirányú rezgésének mintázatait. A vizsgálat kimutatta, hogy a rendszer különböző működési feltételek mellett periodikus, kaotikus és ütemjelenségeket (beat phenomena) is produkálhat.

A [14] forrás egy új, ún. MCB modellt (Moving Compressed Beam) közöl, amely szállítószalagok transzverzális rezgéseinek vizsgálatára alkalmas, figyelembe veszi a szalag keresztirányú hajlítómerevségét és geometriáját is.

A [15] cikk egy ékszíjas hajtás rezgésvizsgálatával foglalkozik, a szíjtárcsák változó beállítása mellett. A fő célja a vizsgálatnak, hogy meghatározza van-e összefüggés a rendszer rezgései és a szíjtárcsák beállítása között. A cikkben egy tesztpadot is elkészítettek, hogy adatokat tudjanak rögzíteni. Végeredményben kijelentették, hogy a szíjtárcsák elhelyezése jelentősen befolyásolja a rezgésmintázatokat, amely kiváltképp fontos a hajtás stabilitása és élettartama szempontjából.

A [16] cikk egy analitikus modellt mutat be laposszíj hajtások állandósult állapotának viselkedésére, amely figyelembe veszi a szíj bilineáris rugalmas viselkedését és maradék nyúlását, amelyet a viszkoelasztikus hatások, például relaxáció okoznak. A modell alkalmazható tetszőleges számú hajtott és hajtó csigával rendelkező hajtásra, és vizsgál mind fix, mind feszítőcsigával előfeszített hajtásokat. A szerzők kiemelik, hogy a hagyományos, lineáris modellekhez képest a bilineáris leírás pontosabban becsüli meg a szíj maximálisan továbbítható teljesítményét és feszültségi állapotát, mivel a viszkoelasztikus hatásoktól eredő maradék nyúlás befolyásolja ezeket. A tanulmány alapján az előfeszített hajtások esetén a maradék nyúlás miatt a tényleges feszültség alacsonyabb lehet, amely csökkenti a tapadó súrlódást és így a teljesítményátvitelt is. A modell eredményei szerint a feszítőcsiga használata kompenzálhatja ezeket a negatív viszkoelasztikus hatásokat, így stabilabb üzemmódot és pontosabb teljesítménybecslést tesz lehetővé.

Az előző bekezdésekben összefoglalt publikációk is jól mutatják, hogy a 21. században is a szíjak egy igen kutatott területnek minősülnek.

Ismeretes, hogy egy kritikus szíjsebesség elérésekor a hajtásban lévő szíj nagy elmozdulás amplitúdójú transzverzális lengéseket is végezhet.

A szíjak lengésvizsgálata kiemelten fontosnak tekinthető, mivel a hossz- és keresztirányú lengések kihatással vannak a gépelem élettartamára, valamint olyan rezgések léphetnek fel, amelyek egy adott hajtás pozicionálási pontosságát ronthatják.

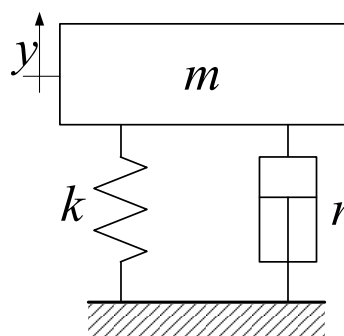
A cikk célja egy olyan berendezés koncepcionális tervezése, amellyel különböző geometriai kialakítású szíjak transzverzális lengéseinek mérése válik lehetővé. Továbbá vizsgálhatóvá válik majd a levegő csillapítás következtében kialakuló csillapító erő hatása a keresztirányú lengésekre.

A következő fejezetekre strukturált a cikk: a második fejezet foglalkozik a transzverzális lengések mérésének céljaival. A harmadik fejezet tér ki a mérőberendezés koncepcionális tervezésre, valamint a megoldásváltozatok összehasonlítására. Az összefoglalás a megállapításokon túl tartalmazza a jövőbeni terveket.

## 2. TRANSZVERZÁLIS REZGÉSEK MÉRÉSÉNEK CÉLJA

A szíjak keresztirányú rezgései negatív hatással lehetnek a hajtásra, ezért ezen lengések vizsgálata kifejezetten fontos, hogy elkerülésüket tervezői biztonsággal meg lehessen oldani.

A létrehozandó rendszer célja, hogy előidézett transzverzális lengéseket az idő függvényében rögzíteni lehessen, majd a kirezgési görbék vizsgálhatóvá váljanak. Ezek a görbék szolgálják majd a későbbi vizsgálatok tárgyát, amely a posztprocesszálás folyamatához tartozik. A szíjvizsgáló berendezésnél a befogott szíj egy egyszabadságfokú, nemlineáris rendszerként kezelhető, azonban a mérnöki gyakorlatban szokásos eljárás, hogy a lengések kis környezetében linearizálunk.



1. ábra 1 szabadságfokú rezgőrendszer és paraméterei

Egy szabadrezgést végző lineáris rendszer (lásd: 1. ábra) mozgásegyenlete:

$$m\ddot{y} + r\dot{y} + ky = 0, \quad (1)$$

ahol  $m$  jelöli a lengő tömeget,  $r$  a csillapítási tényezőt, míg  $k$  a merevséget. Ezen differenciálegyenlet analitikus megoldása, valamint a logaritmusos dekrementum használata szükséges a periódusonkénti csillapítások és merevségek meghatározására. Fő cél, hogy előálljanak a merevség és csillapítás értékek az amplitúdók, sebességamplitúdók függvényében, ezek később nélkülözhetetlenek lesznek a dinamikai vizsgálatokhoz, amelynek részleteivel egy későbbi cikk fog foglalkozni.

A teszrendszer létrehozásával különböző hosszúságú és szélességű szíjak foghatók be, azok előfeszítettsége állítható, valamint egy kitérítő tömeg alkalmazásával keresztirányban a kezdeti feltételhez tartozó gerjesztés beállítható.

Az előzetes tervezési követelmények összegzése:

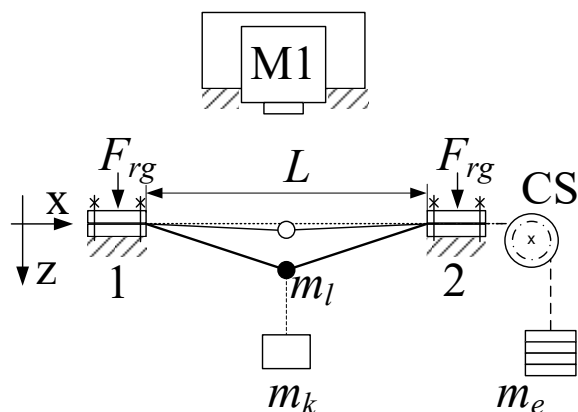
- Különböző geometriájú szíjak befogásának, rögzítésének biztosítása.
- A vizsgálandó szíjhossz tetszőlegesen beállítható legyen, maximum 1 m-es szíj legyen vizsgálható.
- A kitérítő tömeg változtatható legyen.
- Az előfeszítés nagysága állítható legyen  $\leq 500$  N.
- A szíjon elhelyezett lengő tömeg nagysága megválasztható legyen ( $\leq 300$  g), valamint központosan rögzüljön, hogy nem kívánatos csavaró lengések ne keletkezhesse.
- Érintésmentes mérési elv biztosítása.

### 3. MEGOLDÁSVÁLTOZATOK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

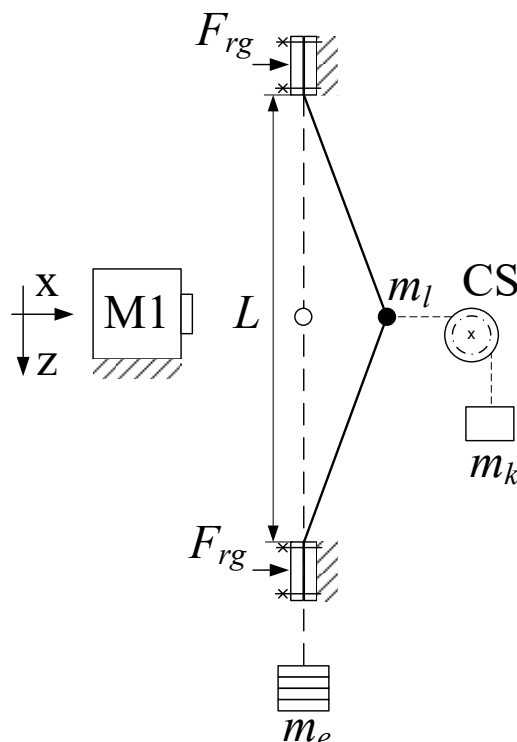
A mérőpad elrendezése alapvetően kétféle lehet, ezek a vízszintes és függőleges elrendezések. A már megfeszített szíjág kitérítésére többféle módszer lehetséges, ezek pl. a mechanikusan-, vákuumosan-, hidraulikusan- vagy egyszerűen súlyterheléssel megoldva.

A legkézenfekvőbb megoldás az utóbbi választása, mivel kivitelezése egyszerű, könnyen biztosítható a kitérítés reprodukálása.

A mérőrendszer oldaláról szükség lesz egy lézeres egységre, amellyel megfelelő pontossággal mérhetővé válnak a szíjlengések. Erre ad lehetőséget az intézetben található Micro-epsilon ILD2220-200 lézeres háromszögelés alapján működő berendezés. Ennek a mérési intervalluma maximum 200 mm. A várható elmozdulás amplitúdó maximum 100 mm lesz. Mérés-adatgyűjtőnek a LabJack T7 egységet kívánjuk majd felhasználni, amely a mért értékeket egy személyi számítógépre küldi postprocesszáls céljából. A mintavételi frekvencia a tervek szerint nagyobb lesz, mint 1 kHz.



2. ábra: A vízszintes elrendezés koncepciója



3. ábra: A függőleges elrendezés elvi vázlata

A 2. ábra szemlélteti a horizontális változatát a mérőrendszernek. A vizsgálandó szíjág 1 jelű végét kell először befogatni csavarok segítségével  $F_{rg}$  rögzítőerővel. Ezután a CS jelű csigán átvette a szabad szíjvéget a kívánt  $m_e$  előfeszítő tömeg ráhelyezhető, majd a 2 jelű pontban a másik vég ugyancsak rögzítendő. Az adódó,  $L$  geometriai hosszal rendelkező szíjra felhelyezhető az  $m_l$  lengő tömeg, amelynek értéke nagyságrendileg a szíjszakasz tömegével mérhető össze. Ekkor megfigyelhető, hogy a pontvonalal jelzett vízszintes egyensúlyi helyzethez képest lentebb lesz a lengő tömeggel terhelt szíjszakasz. A keresztirányú lengések előidézéséhez az  $m_k$  kitérítő tömeg szolgál, amelyet fonott zsinórral kell majd központosan rögzíteni a lengő tömeghez. A mérés kezdetén ezt a kitérítő tömeget kell levágni a szíjszakasról.

A vízszintes konstrukciónak hátránya, hogy a lengő tömeggel megnövelt szíjág egyensúlyi helyzete nem a vízszintes, azaz ez lényegében egy plusz előfeszítést visz be a rendszerbe, továbbá e pont körül fog rezegni a rendszer. Ennek a hátránya, hogy ha ugyanazon előfeszítés mellett különböző lengő tömegekkel szeretnénk méréseket végezni, majd pedig a kiértékelés során merevségeket számolni, akkor kis lengéseknél nem egy értékhez konvergálnának a mérések.

A felmerülő probléma megoldására született meg a 3. ábrán látható koncepcióváltozat, amelynél az egyensúlyi helyzete a lengő tömegnek a két lefogatási pont közötti függőleges szakaszon lesz, nem visz be plusz előfeszítő erőt. Azonban a lengő tömeg hatására a felső szakasz kis mértékben jobban megfeszített, mint az alsó. Ennél a változatnál is a kitérítő tömeget a mérés előtt szükséges levágni, amely a CS jelű csigán van átvetve. Mindkét esetben biztosított az érintésmentes elmozdulás mérés az M1 jelű lézeres távolságmérővel.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A szíjakkal kapcsolatos irodalomkutatás rávilágított arra, hogy napjainkban is van relevanciája azok lengéseinek, viselkedésének kutatására. A jövőben ígérkező kutatómunka első állomása egy szíjvizsgáló berendezés megtervezése, amely alkalmas lesz a transzverzális lengések mérésére, majd a mérési adatokból posztprocesszálást lehet végrehajtani, hogy pl. a levegő csillapításának hatása vizsgálható legyen.

#### 5. IRODALOM

- [1] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill Education, 2015.
- [2] R. Perneder, I. Osborne, Handbook Timing Belts: Principles, Calculations, Applications. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012.
- [3] H. Zhu, W.D. Zhu, W. Fan, "Dynamic modeling, simulation and experiment of power transmission belt drives: A systematic review," Journal of Sound and Vibration, Vol. 491, 2021.
- [4] D.H. Ashworth, "Belt Drives" In: Bell, P.C. (eds) Mechanical Power Transmission. Mechanical Engineering Series, Palgrave Macmillan, London, 1971.
- [5] A. Singh, Fundamentals of Machine Design Vol. 2, Cambridge University Press, 2017.
- [6] I. Boldea, S. A. Nasar, Electric Drives, CRC Press, 2016.
- [7] D. R. Martins., R. Pederiva, "Dynamic Analysis of a Serpentine Belt Drive with Automatic Tensioner," 22nd International Congress of Mech. Eng., Brazil, 2013.
- [8] P. Bortnowski et al., "Models of Transverse Vibration in Conveyor Belt—Investigation and Analysis," Energies, 2021.
- [9] P. Bortnowski et al., "Identification of conveyor belt tension with the use of its transverse vibration frequencies," Measurement, Vol. 190, 2022.
- [10] G. Suweken and W. T. van Horssen, "On the transversal vibrations of a conveyor belt with a low and time-varying velocity. Part I: the string-like case," Journal of Sound and Vibration, vol. 264, pp. 117–133, 2003.
- [11] G. Suweken and W. T. van Horssen, "On the transversal vibrations of a conveyor belt with a low and time-varying velocity. Part II: the beam-like case," Journal of Sound and Vibration, vol. 267, pp. 1007–1027, 2003.
- [12] W.-B. Shangguan et al., "A calculation method for natural frequencies and transverse vibration of a belt span in accessory drive systems," Proceedings of the Institution of Mech. Eng., Part C: J. of Mech. Eng. Sci., vol. 227, no. 10, pp. 2268–2279, 2013, <https://doi.org/10.1177/0954406212474152>
- [13] E. W. Chen, H. H. Lin, and N. Ferguson, "Experimental investigation of the transverse nonlinear vibration of an axially travelling belt," Journal of Vibroengineering, Vol. 18, No. 8, pp. 4885–4900, Dec. 2016, <https://doi.org/10.21595/jve.2016.17341>
- [14] P. Bortnowski, R. Król, and M. Ozdoba, "Modelling of transverse vibration of conveyor belt in aspect of the trough angle," Scientific Reports, vol. 13, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-46534-w.
- [15] Š. Pravda et al., "Vibration analysis of a V-belt drive in variable conditions of pulleys misalignment," MM Science Journal, vol. 2023, pp. 6289–6293, 2023, [https://doi.org/10.17973/MMSJ.2023\\_03\\_2022098](https://doi.org/10.17973/MMSJ.2023_03_2022098).
- [16] V. U. Kumaran, L. Weiss, M. Zogg, and K. Wegener, "Analytical flat belt drive model considering bilinear elastic behaviour with residual strains," Mechanism and Machine Theory, vol. 190, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2023.105466>.