

SÖVÉNYVÁGÓ EXCENTERES MECHANIZMUSÁNAK KINEMATIKAI TULAJDONSÁGAI

KINEMATIC PROPERTIES OF THE ECCENTER MECHANISM OF A HEDGE TRIMMER

Siktár Bálint*, Dr. Kakuk József**, Dr. Hegedűs György**

ABSTRACT

Cam-follower mechanisms remain essential across automotive, industrial, and handheld power tools; here, the authors analyse the twin-eccentric cam-slot drive of a hedge trimmer. A compact kinematic model was derived that yields displacement, velocity, acceleration, and jerk (S-V-A-J) of the reciprocating blades from the shaft angle and speed. The transmission employs two equal-radius discs on a standard shaft with opposite eccentricities that run-in conjugate slots at the blade roots, enforcing synchronised, counter-phase motion. Closed-form relations are obtained for disc centre trajectories and constrained blade motion under vertical guidance, enabling frequency-dependent evaluation of S-V-A-J characteristics.

1. BEVEZETÉS

A büttyös tárcsás mechanizmusok és a hozzájuk tartozó büttyöktagok kompakt, alakzáró kapcsolatot biztosító megoldások, amelyek a nagy pontosságú pozicionálástól az indexálásig, nagy fordulatszámú üzemig számos alkalmazásban megjelennek (pl. szelepvezérlés, kéziszerszám-hajtások). A korszerű kutatásokat két fő szempont alapján végzik: az egyik a mozgástörvények olyan szintézise, amely korlátozza a nyomásszöget, csökkenti a gyorsulási, valamint a lökés-csúcsokat, továbbá mérsékli a kontaktterhelést; a másik a statikus-dinamikus kiegyensúlyozás, illetve a nyomatékingadozás mérséklése, a tartósság növelése, továbbá a zaj és rezgés csökkentése érdekében.

A profilgenerálási módszerek és mozgástörvények között megtalálható a Fourier-sorok alkalmazása, ahol a büttyöktag elmozdulását periodikus függvényként kezelik, és véges számú harmonikussal közelítik. A harmonikusok és fázisok számának megválasztásával a rezonanciafrekvencia csökkenthető, miközben megvalósítható a sebesség-gyorsulás folytonossága és szabályozhatók a lökésből eredő csúcsok. Ez különösen hatékony nagy sebességű mechanizmusok esetén [1].

A Bézier-görbékkel előállított mozgástörvények finomhangolhatók, miközben magasabb rendű folytonosságot biztosítanak. A vezérlőpontok fizikai

értelmezést tesznek lehetővé (elmozdulás, sebesség, gyorsulás), és az alámetszés elkerülhető a görbületi korlátok mellett. Negatív sugarú ekvivalens büttyöktag használata (geometria transzformáción keresztül) nagyobb emelőerőt tesz lehetővé szűk burkolófelületeken, miközben a nyomásszög a határokon belül marad [2], [3].

A büttyök-összekötő mechanizmusokban a direkt megoldás (adott profil $\rightarrow$ pálya) mellett egyre inkább az inverz megközelítést (szükséges pálya $\rightarrow$ visszafelé számított profil) alkalmazzák. Előnye a kimeneti jellemzők (pl. megadott löket, rángatási határ, adott várakozási idő) közvetlen szabályozása, amelyekből a büttyök profilja származik; a tanulmányok jobb nyomatékingadozást és rövidebb tervezési iterációt mutatnak az előre irányuló tervezéshez képest [4].

A konjugált tárcsa-büttyök párokban több profil működik együtt, hogy terhelés alatt is biztosítsa az erőzáró érintkezést. Mivel a túlhatározott kinematikai kényszerek felerősítik a gyártási és szerelési hibákat, a közvetett mérési módszerek a profil eltéréseit az összeszerelt mechanizmus relatív büttyöktag mozgásaiból, vagy szögeiből becsülik meg, lehetővé téve a gyors, gyártósori minőségellenőrzést a büttyök-pálya koordináta-mérőgépes ellenőrzése nélkül [5].

A párhuzamos tengelyű indexelő mechanizmusok zárt alakú összefüggéseket alkalmaznak a profilra, a nyomásszögre és a fő görbületekre, támogatva az előre meghatározott időzítést és az átviteli optimalizálást. Ezzel párhuzamosan megjelentek a kompakt koaxiális indexelők (excentrikus vagy büttyök-csuklós hibridek), amelyek fordulatonként több megállást tesznek lehetővé korlátozott burkológörbével és nagy sebességgel. A prototípusok alacsony nyomásszögeket és kedvező erőátvitelt mutattak a megfelelő tartományokon belül a paraméterektől függően [6]–[8].

A rugóerők és a tehetetlenség periodikusan ellennyomatékot hoznak létre a vezérműtengelyeken. A speciális kiegyensúlyozó büttyök és mozgástörvény-szintézis képesek kompenzálni ennek a terhelésnek a jelentős részét, különösen alacsony és közepes sebességeknél, azáltal, hogy egy ellennyomaték-profil illesztenek a rugó vagy a büttyöktag erő modellhez [9].

* PhD hallgató, Miskolci Egyetem Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

** Egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

Az integráltan kialakított ellenbüttyökkel ellátott büttyöktárcsák egyetlen darabban képesek megfelelni a statikus és dinamikus kiegyensúlyozásnak, miközben a munkakontúr részei maradnak. A kísérletek a vibrációból származó erők és a rezonanciatartomány amplitúdójának csökkenését, valamint a zaj-, a rezonanciazavar és a tartósság javulását mutatták [10].

Közel állandó kimeneti erő érhető el egy lineáris karakterisztikájú rugó és egy büttyök kombinációjával, amely effektív negatív merevséget biztosít; az erőszintet a rugó előterhelése szabályozza. Hasonlóképpen, a büttyök alakja optimalizálható, hogy széles tartományban változó merevséget valósítson meg valós mechanikai korlátok mellett. Az említett módszerek hatékonyan „programozzák” a büttyök-büttyöktag erő-elmozdulás jellegzőgörbét [3], [11].

A konjugált büttyöket széles körben használják szövőgép mechanizmusokban. Egy újabb kutatás egy kéttengelyes konjugált megoldást javasol, amely csökkenti az érintkezési feszültségeket és leegyszerűsíti a konstrukciót a többszörös koaxiális büttyökhöz képest. Digitális prototípusok és méretarányos kísérletek igazolják a mozgástörvény szerinti pontosságot (pl. trigonometrikus gyorsulás függvények) és a tartóssági előnyöket 0,01mm gyártási pontossági követelmények mellett [12].

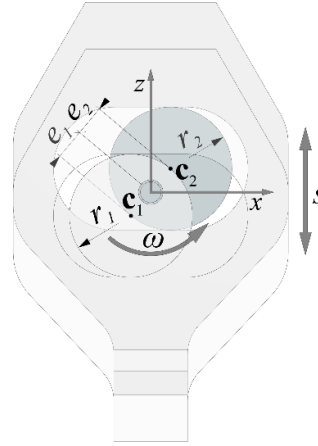
A vizsgált mechanizmus két excentrikusan rögzített tárcsát alkalmaz, amelyek peremei a pengéhoronyokban futnak – azaz egy konjugált perem-horony kényszerben –, ami a pengék ellentétes fázisú alternáló mozgását eredményezi. A vizsgált irodalmak kiemelik a Fourier-sorokkal, valamint a Bézier görbékkel meghatározott mozgástörvényeket a lökés és a nyomásszög csökkentésére; kiegyensúlyozási koncepciókat a hajtáslánc rezgésének korlátozására; és gyors összeszerelt állapotú profilhiba-ellenőrzéseket a csendes, tartós perem-horony érintkezés fenntartása érdekében.

A jelenlegi technika gazdag a profilszintézis, kiegyensúlyozás és indexelés terén, mégis kevesebb munka foglalkozik a kéttárcsás/kétréses alternálókkal, ahol az ellenirányú mozgással rendelkező vágópengék mozgását közvetlenül a tárcsa pereme korlátozza. A jelenlegi tanulmány következő lépése az S–V–A–J jellemző előzményeinek kiszámítása a rendelkezésre álló CAD geometriából, a későbbi optimalizálás és tartóssági értékelés alátámasztására.

2. AZ IKEREXCENTERES MECHANIZMUS JELLEMZŐI

A hajtás két azonos sugarú tárcsát használ, amelyek egy közös tengelyre vannak szerelve szilárd illesztéssel, oly módon, hogy azok excentricitása ellentétes irányú. Mindkét excentertárcsa egy konjugált horonyban fut, amelyet csatlakozó pengék felső részében úgy alakítottak ki, hogy megfelelő futásra legyenek képesek. Mindkét

penge a kényszermozgásnak köszönhetően függőleges irányú elmozdulásra képes, az excentertárcsák geometriai kialakításának, valamint beépítésének megfelelően a két vágópenge azonos löketű, szinkronizált és ellentétes irányú mozgást végez. Az elrendezés kompakt, részben kiegyenlíti az elsőrendű tehetetlenséget és kiszámítható szinuszos mozgástörvényt eredményez.



1. ábra Az excenteres mechanizmus jellemző geometriai méretei

A sövényvágóberendezésekben alkalmazott iker-excentertárcsás mechanizmus jellemző geometriai méreteit az 1. ábra szemlélteti. A mechanizmus kinematikai jellemzőinek meghatározásához tegyük fel, hogy a forgástengely egyik pontja az origóban jellemzett **O** ponton keresztül halad, valamint a forgástengely normál egységvektora az $\mathbf{n} = \mathbf{e}_x \times \mathbf{e}_y$ összefüggéssel határozható meg. Az excentertárcsák középpontjai egy-egy körpályán mozognak, ahol az $e_1 = -e_2$, $e_1 > 0$. A motor tengelyének szögelfordulását az idő függvényében a

$$\varphi_m(t) = \omega t + \varphi_0 = \frac{2\pi n}{60} t + \varphi_0 \quad (1)$$

összefüggéssel határozhatjuk meg. Az ikerexcenteres mechanizmus tárcsáinak középpontjaira érvényes a

$$\mathbf{c}_i(\varphi_m) = \mathbf{R}(\varphi_m) \mathbf{e}_{i,0}, (i = 1, 2), \quad (2)$$

ahol

$$\mathbf{e}_{i,0} = \begin{bmatrix} e \cos(\varphi_{i,0}) \\ e \sin(\varphi_{i,0}) \end{bmatrix}, \mathbf{R}(\varphi_m) = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_m) & -\sin(\varphi_m) \\ \sin(\varphi_m) & \cos(\varphi_m) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

A pengék csak függőlegesen mozoghatnak, melyeknek $s_i(t)$ elmozdulásait úgy definiáljuk, hogy a pengék elmozdulási iránya $\mathbf{u} = \mathbf{e}_z$. A függőleges vezetés miatt az elmozdulás iránya a tárcsaközéppont merőleges vetületével megegyező:

$$s_i(\varphi_m) = \mathbf{e}_z^\perp \mathbf{c}_i(\varphi_m) = \mathbf{e}_z^\perp \mathbf{R}(\varphi_m) \mathbf{e}_{i,0} = e \cos(\varphi_m + \varphi_{i,0}) \quad (4)$$

A két ellentétes excentricitású tárcsa esetén a két vágópenge ellenfázisú elmozdulása:

$$\begin{aligned} s_1(\varphi_m) &= e_1 \cos(\varphi_m + \varphi_0), \\ s_2(\varphi_m) &= -e_2 \cos(\varphi_m + \varphi_0). \end{aligned} \quad (5)$$

A jellemző sebesség az elmozdulás idő szerinti deriváltja alapján az

$$v_{1,2}(t) = \dot{s}_{1,2} = \omega \frac{ds_{1,2}}{d\varphi_m} = \mp \omega e \sin(\varphi_m + \varphi_0) \quad (6)$$

összefüggéssel határozható meg. A (6) deriváltja adja a pengék gyorsulását:

$$a_{1,2}(t) = \ddot{s}_{1,2} = \omega^2 \frac{d^2 s_{1,2}}{d\varphi_m^2} = \mp \omega^2 e \cos(\varphi_m + \varphi_0), \quad (7)$$

melynek idő szerinti deriváltja a gyorsulásváltozást, vagyis a lökést:

$$\dot{a}_{1,2}(t) = \ddot{\ddot{s}}_{1,2} = \omega^3 \frac{d^3 s_{1,2}}{d\varphi_m^3} = \pm \omega^3 e \sin(\varphi_m + \varphi_0). \quad (8)$$

Az r sugarú tárcsa peremén rögzített pontot a forgásközépponttal összekötő vektor a szögelfordulás függvényében a

$$\mathbf{p}_i(\varphi_m) = \mathbf{R}(\varphi_m)(\mathbf{e}_{i,0} + r\mathbf{u}(\varphi_m)), \mathbf{u}_i(\varphi_m) = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_m) \\ \sin(\varphi_m) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

összefüggéssel határozható meg, melynek a középponttól mért távolsága állandó, vagyis

$$\|\mathbf{p}_i(\varphi_m)\| = \|\mathbf{e}_{i,0} + r\mathbf{u}(\varphi_m)\|. \quad (10)$$

A fent ismertetett összefüggések alapján az excenteres mechanizmus kinematikai jellemzői a fordulatszám és a szögelfordulás ismeretében ábrázolhatók.

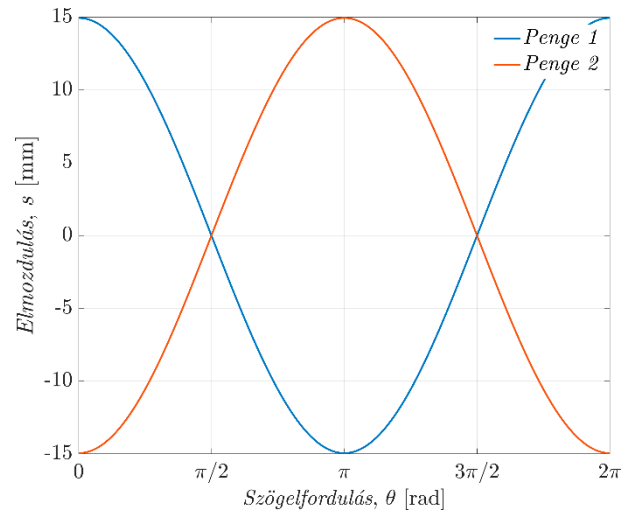
3. AZ EXCENTERES MECHANIZMUS KINEMATIKAI JELLEMZŐINEK ÁBRÁZOLÁSA

A vizsgálat alá vont excenteres mechanizmus és a vágópenge jellemző paramétereit az 1. táblázat foglalja össze.

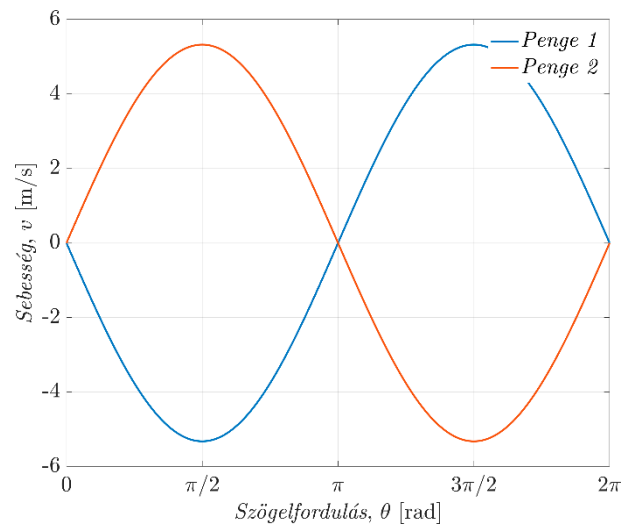
1. Táblázat A vizsgált mechanizmus jellemző adatai

Megnevezés	Érték	Mértékegység
Löketszám	3400	min^{-1}
Penge 1 tömege	0,299	kg
Penge 2 tömege	0,2983	kg

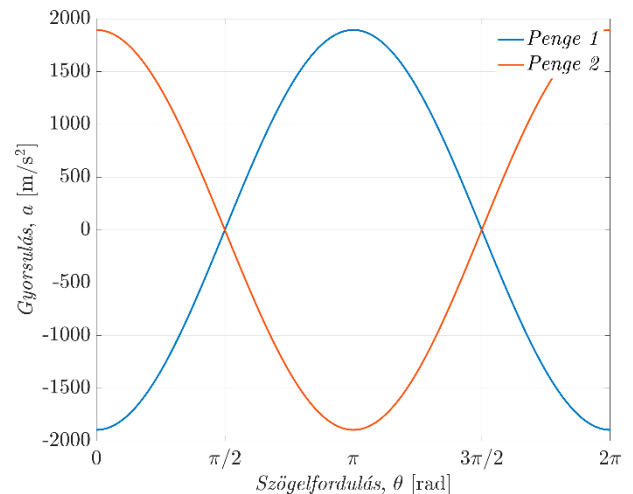
A 2.-5. ábrák szemléltetik a vizsgált sövényvágó excenteres mechanizmusára jellemző S-V-A-J kinematikai függvényeket a korábban ismertetettek szerint.



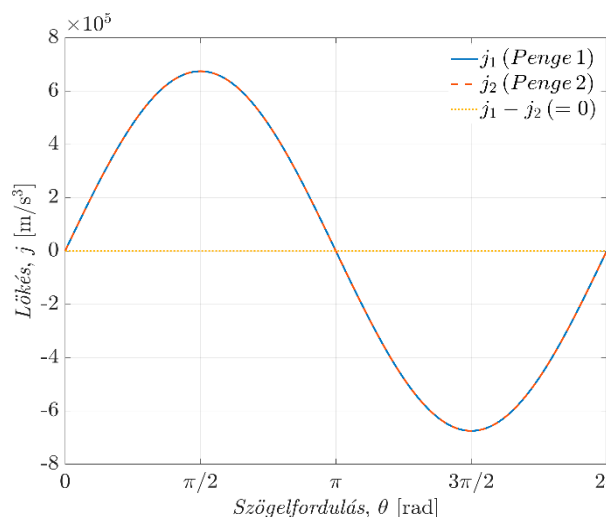
2. ábra A vágópengék elmozdulása az excenteres mechanizmus működése közben



3. ábra A vágópengék sebessége az excenteres mechanizmus működése közben



4. ábra A vágópengék gyorsulása az excenteres mechanizmus működése közben



5. ábra A vágópengék lökésfüggvénye az excenteres mechanizmus működése közben

A mechanizmus kialakítása kedvez a nagy fordulatszámú, kis helyigényű hajtásoknak; a két penge ellenfázisa részleges elsőrendű tehetetlenségi kiegyenlítést eredményez. A lökészcúcsok (5. ábra) jelzik, hogy irányváltáskor célszerű mozgástörvény-finomítást (pl. profil-szintézist) vagy megfelelő rugalmasságot alkalmazni a kontaktterhelések és a zaj/vibráció mérséklésére.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikk a sövényvágókban alkalmazott iker-excenteres tárcsa-horony hajtás kinematikai viselkedését vizsgálta. Reprezentatív adatként a löketség 3400 min^{-1} , a Penge 1 tömege $0,299 \text{ kg}$, a Penge 2 tömege $0,2983 \text{ kg}$. Az eredmények tervezési következményei között szerepel a nyomáscső, a lökészcúcsok és a nyomatékíngadozás mérséklésének lehetősége, valamint a perem-horony érintkezés kedvezőbb terhelése. A kidolgozott kinematikai keret alapot ad a későbbi optimalizálásnak és a tartóssági vizsgálatoknak kerti szerszámok és más, hasonló felépítésű kompakt hajtások esetén.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A C2263193 számú projekt a kulturális és innovációs minisztérium nemzeti kutatási fejlesztési és innovációs alapról nyújtott támogatásával, a KDP-2023 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

8. IRODALOM

- [1] C. Zhou, B. Hu, S. Chen, and L. Ma, "Design and analysis of high-speed cam mechanism using Fourier series," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 104, pp. 118–129, Oct. 2016, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2016.05.009>
- [2] M. Hidalgo-Martínez, E. Sanmiguel-Rojas, and M. A. Burgos, "Design of cams with negative radius

follower using Bézier curves," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 82, pp. 87–96, Dec. 2014, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2014.08.001>

- [3] R. R. Torrealba and S. B. Udelman, "Design of cam shape for maximum stiffness variability on a novel compliant actuator using differential evolution," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 95, pp. 114–124, Jan. 2016, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2015.09.002>
- [4] J. Pozo-Palacios, N. J. Fulbright, J. A. F. Voth, and J. D. van de Ven, "Comparison of forward and inverse cam generation methods for the design of cam-linkage mechanisms," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 190, p. 105465, Dec. 2023, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2023.105465>
- [5] W. T. Chang and L. I. Wu, "Calculating actual profiles of conjugate disk cams by means of conjugate variation measurement," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 25, no. 12, pp. 3083–3098, Dec. 2011, <https://doi.org/10.1007/S12206-011-0928-4>
- [6] J. F. Hsieh, "Design and analysis of indexing cam mechanism with parallel axes," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 81, pp. 155–165, Nov. 2014, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2014.07.004>
- [7] Y. Yang, J. Wang, S. Zhou, and T. Huang, "Design of a novel coaxial eccentric indexing cam mechanism," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 132, pp. 1–12, Feb. 2019, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2018.10.012>
- [8] Y. Yang, R. Xie, J. Wang, and S. Tao, "Design of a novel coaxial cam-linkage indexing mechanism," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 169, p. 104681, Mar. 2022, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2021.104681>
- [9] D. Y. Lin, B. J. Hou, and C. C. Lan, "A balancing cam mechanism for minimizing the torque fluctuation of engine camshafts," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 108, pp. 160–175, Feb. 2017, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2016.10.023>
- [10] W. T. Chang and Y. E. Hu, "An integrally formed design for the rotational balancing of disk cams," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 161, p. 104282, Jul. 2021, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2021.104282>
- [11] Y. Liu, D. P. Yu, and J. Yao, "Design of an adjustable cam based constant force mechanism," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 103, pp. 85–97, Sep. 2016, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2016.04.014>
- [12] H. Qiu, M. Chen, F. Li, and Y. Zhang, "Innovative design and experimental verification of cam shedding for high-speed looms," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 112, pp. 26–36, Jan. 2025, <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2024.10.096>