

# SÖVÉNYVÁGÓ KINEMATIKAI ÉS REZGÉS VIZSGÁLATA

## INVESTIGATING THE KINEMATICS AND THE VIBRATION OF A HEDGE TRIMMER

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

### ABSTRACT

*Hedge trimmers are handheld gardening power tools, used in households, where hedges or weaker vegetations are present. The aim of this paper is to investigate the mechanical behavior of a hedge trimmer that uses a circular eccentric disc firstly from a kinematic point of view, then from a vibration measurement point of view. During the vibration measurement, the FFT - Fast Fourier Transformation procedure is used to determine the source of vibration. This paper also aims to show how the different components affect the already mentioned vibration measurement results.*

### 1. BEVEZETÉS

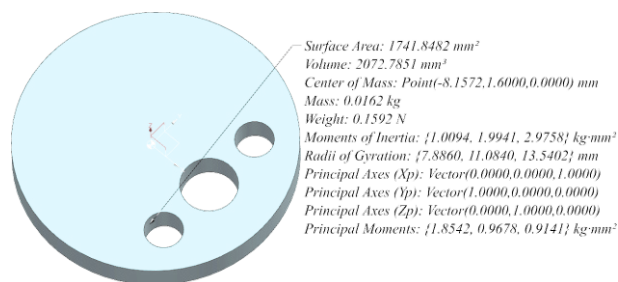
A sövényvágók kertészeti kéziszerszámok, melyeket elsősorban háztartásokban használnak, azonban professzionális felhasználási módok is előfordulhatnak. A gyártók egyik fő fejlesztési iránya a pengék hosszának növelése, mivel ennek következtében növelhető a vágási teljesítmény, valamint csökkenthető a tevékenységhez szükséges idő [1]. Ennek egyik hátránya, hogy magasabb a jelentkező terhelés, valamint a vibráció, ami fásasztóbb működtetést jelenthet, mely ergonomiai szempontból nem javasolt [2]-[4]. Az ilyen tulajdonságok kompenzálására a gyártók célja a vágóerő növelése, így könnyebb a kéziszerszámmal történő munkavégzés a hatékonyabb vágási műveletek következtében. A sövényvágókban elsősorban excentrikus tárcsákat alkalmaznak a forgó mozgás alternáló mozgássá történő átalakításához, ez a mechanizmus egy büttykös mechanizmusnak tekinthető [5]. Forgó – alternáló mozgás-átalakítás megvalósítására forgattyús mechanizmus is szóba jöhet, azonban ez a megoldás bizonyos korlátozásokkal jár, mert nagyobb méretű gépelemek jellemzik, ez pedig nagyobb tömeget jelent, a nagyobb tömeggel járó megoldásokat pedig célszerű kerülni a kéziszerszámoknál. A vágóerő szabályozására a vezérpálya alakjának megváltoztatásával van lehetőség, de ez magasabb zajszintet és rezgésszintet jelenthet [6], [7].

Jelen cikk egy kör alakú excentrikus tárcsa kinematikai tulajdonságait, a működés közben fellépő rezgési jellemzőit vizsgálja és ismerteti. A tanulmány további célja, hogy rávilágítson arra, hogy a nem mozgó alkatrészek hogyan befolyásolhatják a teljes rendszer rezgési tulajdonságait és a rezgésmérés eredményeit.

### 2. A KÖR ALAKÚ EXCENTERTÁRCSA KINEMATIKAI VISELKEDÉSE

Az excentrikus tárcsa kinematikai jellemzőinek vizsgálatához az elmozdulást leíró függvényt kell felírunk. Az ilyen típusú kézi szerszámok egyik legismertebb jellemzője a hajtó villamos motor fordultszáma.

A gyártók által megadott másik jellemző tulajdonság a lökethossz, ez a hajtott tengely – és az excentrikus tárcsa – geometriai méreteiből, valamint a hajtó motor fordulatszám alapján meghatározható. Megjegyzendő, hogy a motor egy fordulata alatt a kések két vágási műveletet végeznek – előre futáskor és vissza futáskor – emiatt a kettős lökete sebességet vesszük figyelembe a számítások során. A körkörös excenter geometriája az 1. ábrán látható.



1. ábra A kör alakú excentertárcsa jellemzői

A korábban említett mennyiségek számítása az (1) és (2) összefüggésekkel írható fel:

$$n_l = 2 \cdot n_{kl} = 2 \cdot 1600 \text{ min}^{-1} = 3200 \text{ min}^{-1} \quad (1)$$

ahol az  $n_l$  a löketek számát [ $\text{min}^{-1}$ ], míg az  $n_{kl}$  a kettős löketek számát [ $\text{min}^{-1}$ ] jelöli. Az egy lökethez szükséges idő számítása a

\* PhD hallgató, Miskolci Egyetem Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

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

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

$$t_i = \frac{1}{n_i} = \frac{60}{3200} s = 0,01875 s = 18,75 ms \quad (2)$$

összefüggéssel írható fel. Ennek ismeretében minden egyes időpillanathoz kiszámítható az elmozdulás. Ezt az elmozdulás függvényt felhasználva meghatározhatók az excentertárcsa kinematikai jellemzői. Az elmozdulás függvény idő szerinti első deriváltja adja a sebesség-, második deriváltja a gyorsulás függvényt. Egy kör alakú excentrikus tárcsa szinuszos elmozdulási függvénnyel rendelkezik, ezért célszerű az idő-elmozdulás párokat egy módosított koszinusz függvénnyel keresni, ennek oka, hogy ez a függvény könnyebben kezelhető. A módosított koszinusz függvény az

$$s = [-\cos(\varphi) + 1]e \quad (3)$$

alakban írható fel, ahol  $s$  az adott pillanathoz tartozó elmozdulás [mm],  $\varphi$  a szögelfordulás [°],  $e$  a sövényvágó excentertárcsájában a hajtott tengely furatának és a forgástengelyének excentrikus távolsága [mm].

Az excentert 36 db, egyenként 10°-os részre felbontva, meghatározhatók az idő-elmozdulás párok, melyek ezt

követően ábrázolhatók egy diagramban, majd közelítő függvény illesztését követően elérhető az elmozdulást leíró függvény [8], [9].

A kapott függvény polinomegyenletével leírható az elmozdulás, ez a polinom az

$$s(t) = 0,0024t^4 - 0,089t^3 + 0,874t^2 - 0,782t + 0,164 \quad (4)$$

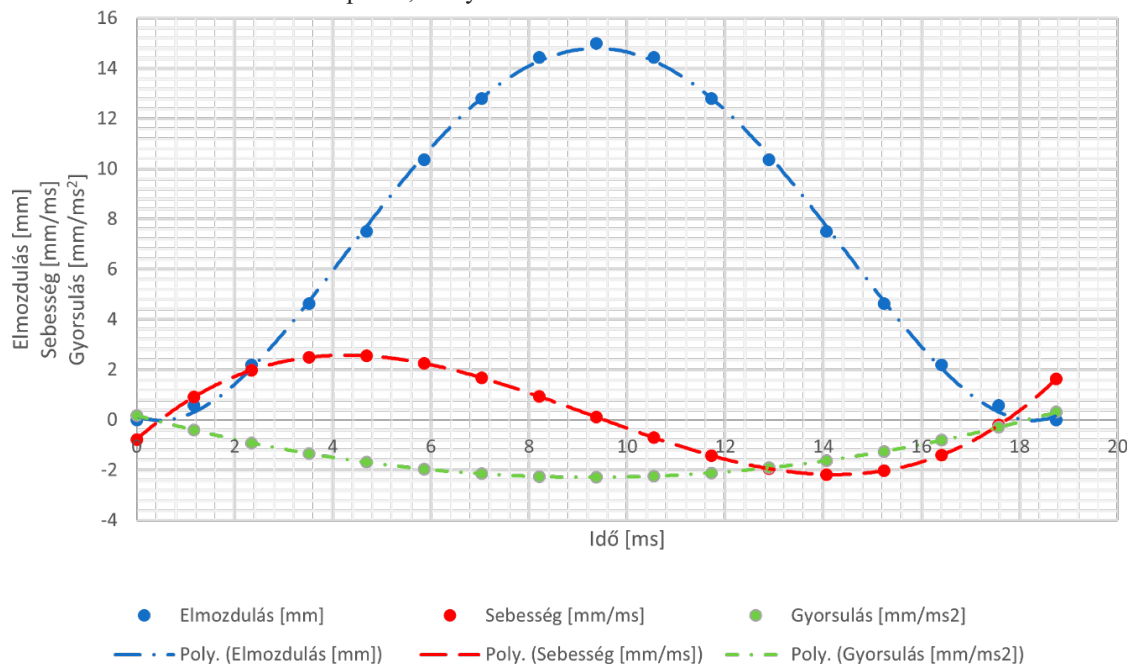
alakban írható fel. A (4) kifejezés idő szerinti deriváltja adja a sebesség függvényt, mely a

$$v(t) = 0,0096t^3 - 0,2644t^2 + 1,7488t - 0,7816 \quad (5)$$

a következő formában áll elő. A gyorsulás függvény az (5) kifejezés idő szerinti deriváltja alapján az

$$a(t) = 0,0288t^2 + 0,5328t + 1,7488 \quad (6)$$

alakban írható fel. A függvények ismeretében előállítható a kör alakú excenter mozgása során jellemző elmozdulás, sebesség és gyorsulás grafikon. A motor fordulatszáma alapján a (4) – (6) egyenleteket felhasználva a 2. ábrán látható grafikont kapható meg.



2. ábra A kör alakú excentertárcsa kinematikai függvényei

### 3. REZGÉSMÉRÉS A KÖR ALAKÚ EXCENTERTÁRCSÁT HASZNÁLÓ SÖVÉNYVÁGÓN

A kézi szerszámgép egyik legfontosabb jellemzője a zaj- és rezgésszint. Káros az egészségre olyan eszköz használata – bizonyos esetekben akár órákon át is –, melynek működése közben nagy intenzitású vibráció tapasztalható, függetlenül attól, hogy terhelte vagy terheletlen állapotban működik a berendezés. A

rezgés mérés segítségével a tervezők felismerhetik a hibákat, a termékfejlesztési fázisban problémákat detektálhatnak, és megelőző intézkedéseket hozhatnak. A rezgés mérés önmagában általában arra használható, hogy megvizsgáljuk, a gép működésében van-e probléma vagy sem, a forrás meghatározásához az *FFT – Fast Fourier Transformation* eljárást alkalmazzuk [10]. Az 1. táblázat tartalmazza a vizsgált gép főbb alkatrészeinek megnevezését, a percenkénti fordulatszámot (*RPM*), a másodpercenkénti fordulatszámot (*RPS*),

az élek/pengék számát és frekvenciáját hertzben (Hz). A vizsgált gép konstrukcióját tekintve egy kisebb,  $z_1=4$  fogú ferdefogazású fogaskerékkel rendelkezik, amelyet a rotor tengelyére préselnek. Nagyobb ferdefogazású fogaskereke van melynek fogszáma  $z_2=57$ , ez a hajtott tengely, ahol a két excentrikus tárcsa található. A rotor tengelyére egy ventilátort is préselnek, a ventilátornak tizenhét lapátja van.

1. táblázat a komponensek releváns frekvenciái

Alkatrész neve	Fordulatszám [s]	Élek/fogak	Frekvencia [Hz]
Motor	384	1	384
Ventilátor	384	17	6528
Hajtó fogaskerék	384	4	1536
Hajtott fogaskerék	26,9	57	1533,3
Kés	26,9	2	53,8
Excentertárcsa	26,9	1	26,9

A kések két éllel rendelkeznek, ennek köszönhető, hogy képesek mind előre futáskor, mind visszafutáskor vágási műveletet végezni.

A berendezés további jellemzője, hogy a hajtásrendszer műanyag hajtóműházban kap helyet, valamint a gép teljes külső burkolata is műanyag. Ezek az anyagok hajlamosak bizonyos deformációt mutatni, aminek következtébe, hogy a mérési eredményeket torzítják. A rezgésmérés fontos jellemzője, hogy az FFT

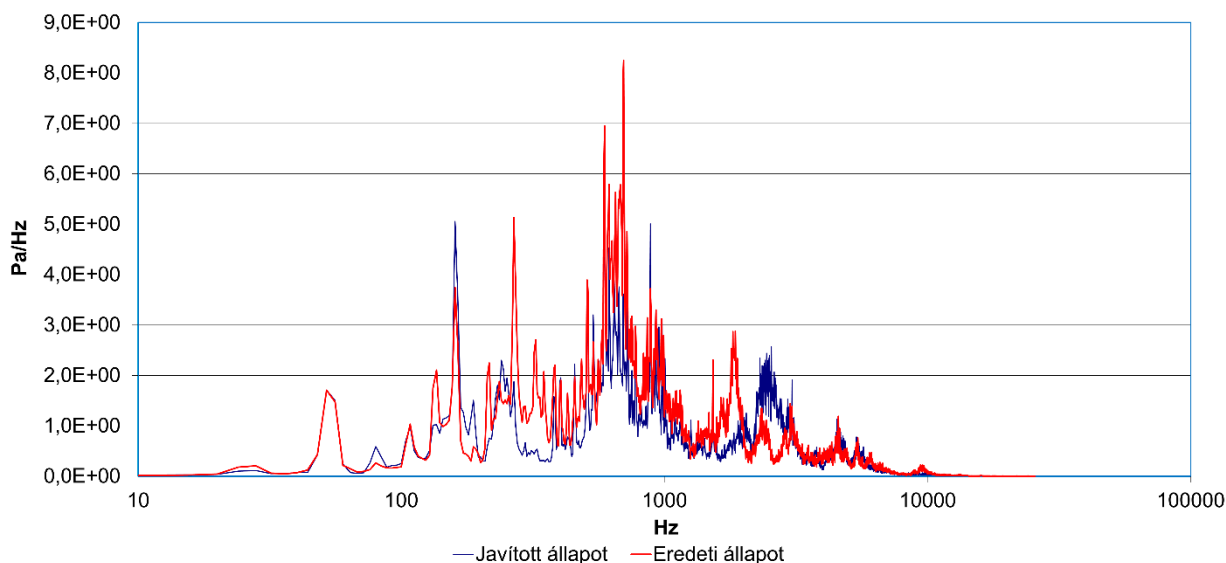
adatok a komponensek felső felharmonikusait is tartalmazzák.

Az FFT eredménye azt mutatja, hogy a gép rezgésének – vagy zajának – spektruma hogyan néz ki, az eszköz rezgésének spektrumát komponensekre bontja, a komponensek amplitúdóival. A gép tulajdonságai alapján kiszámíthatók a komponensekhez tartozó frekvenciák, majd a problémás komponensek megtalálhatók az FFT grafikonon.

Először vizsgáljuk meg a kezdeti állapotot. Látható, hogy a gyorsulás csúcsmplitúdója 700 Hz körül van. A probléma ezzel az, hogy ez a hajtáslánc bármely alkatrésze esetén fennállhat. Ez arra enged következtetni, hogy a probléma forrása talán nem a hajtáslánc alkatrészei között keresendő, ezért szétszedtük a gépet. Azt láttuk, hogy a belső ház, amely a hajtáslánc összes alkatrészét tartalmazza, egy korábbi beérkezésből került beépítésre. A korábbi állapot óta néhány kisebb javítás történt a komponensen, így az alkatrész cserére került. A ferdefogazású fogaskerekekhez megfelelő mennyiségű kenőzsírt adtunk, ami hatással van a zaj- és rezgéseredményekre is. A szerszám összeszerelése után egy második mérés történt.

A kapott eredmények ezúttal kedvezőbbek, a 700 Hz körüli csúcsmplitúdó eltűnt. Most a mérés eredménye 160 Hz-es csúcsmplitúdót mutat, ami nagyjából hatszorosa az excentertárcsa frekvenciájának (26,9 Hz), az eltérés a mérés bizonytalanságával magyarázható. 592 Hz-en egy másik csúcsmplitúdó található, ami körülbelül tizenegyszerese a kések frekvenciájának (53,8 Hz). Egy alsó csúcsmplitúdó található a grafikon elején, 52 Hz értékkel, ez vagy a kések (53,8 Hz) frekvenciája vagy az excenter első felharmonikusa (kétszer 26,9 Hz).

#### Spektrum analízis - Köralakú excentertárcsa



4. ábra A köralakú excentertárcsát használó sövényvágó spektrum analíziseinek összehasonlítása

A grafikon egy másik alacsonyabb csúcsamplitúdót mutat 2310 Hz-en, ami közel hatszorosa a rotor frekvenciájának (384 Hz). Ez azt jelenti, hogy a rotor kiegyensúlyozott, mert nem hoz létre túl magas rezgéseket a forgás során. Még egy csúcsamplitúdó található 3060 Hz-en, ami közel van a fogaskerék frekvenciájának duplájához (1533,3 Hz), ez az eltérés is leírható a mérés tűréshatárával. Szemléltetésképpen a két spektrum analízis egy diagramon került ábrázolásra, amit a 4. ábra szemléltet.

Most nézzük meg az ismeretlen elemeket a már javított grafikonban. A grafikon csúcsértéke 884 Hz, ami nem egészszámu többszöröse bármely frekvenciának. A grafikonon egy ismeretlen csúcsamplitúdó van 2500 Hz frekvencia körül, ez sem egészszámu többszöröse a frekvenciáknak sem.

Az összehasonlító grafikonon látható, hogy a javulás jelentős 700 Hz-en, azt mutatja, hogy nem volt probléma a késekkel (53,9 Hz), mivel ezen a frekvencián nincs különbség a két görbe között. 268 Hz frekvencián jelentős előrelépés történt a javítást követően, vagy a kések, vagy az excentrikus felharmonikusai miatt. A visszaszerelés után a diagram jobb oldali felén az egyik csúcs 1530 Hz értékről 3050 Hz értékre változott, alapvetően a két állapot váltott helyet. Megfigyelhető, hogy a módosítások, javítások miatt a gép rezgési eredményei változnak, az eredeti állapotban csúcs található 1860 Hz körül, azonban a javított állapotban az ehhez tartozó amplitúdó már alacsonyabb, valamint az eredeti állapotban 2330 Hz körüli területen alacsony a rezgés amplitúdója, ezzel szemben a módosításokat követően ugyanezen tartományon a rezgés amplitúdója már magasabb értékeket mutat.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az excentertárcsa kinematikai jellemzőit leíró függvényei alapján megállapítható, hogy a hengeres excentrikus tárcsával rendelkező sövényvágó működése egyenletes, azonban a gyorsulási függvény alapján nem érhető el magasabb vágási erő ilyen geometriájú excentertárcsával – a gyorsulási függvényben nincsenek jól elkülöníthető csúcsok. Az FFT-elemzések megmutatták, hogy az álló komponensek hogyan befolyásolják az eszköz zaját és rezgését, valamint a hajtásrendszer kenési állapota, továbbá a kenőanyag tulajdonságai is nagymértékben befolyásolják a mért adatokat. Megállapítható az is, hogy a zajjal terhelt FFT-adatok összetevőinek a forrásaikhoz való kapcsolásához alaposabb elemzések szükségesek. Az is ismertetésre került, hogy az álló alkatrészek hogyan befolyásolják a rezgés eredményeit.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A c2263193 számú projekt a kulturális és innovációs minisztérium nemzeti kutatási fejlesztési és innovációs alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2023 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

#### 6. IRODALOM

- [1] M. R. Kamandar, J. Massah, M. Jamzad: *Design and evaluation of hedge trimmer robot*, Computers and Electronics in Agriculture, vol. 199, p. 107065, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107065>
- [2] F. Roggio, E. Vitale, V. Filetti, V. Rapisarda, G. Musumeci, E. Romano: *Ergonomic Evaluation of Young Agricultural Operators Using Handle Equipment Through Electromyography and Vibrations Analysis Between the Fingers*, Safety and Health at Work, vol. 13, no. 4, Aug. 2022 <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2022.07.003>
- [3] Y. Yüksel, H. Kocabas: *The Vibration of Disc Cam Mechanism*, Mechanism and Machine Theory, vol. 30, no. 5, July 1995, pp. 695–703, [https://doi.org/10.1016/0094-114x\(94\)00062-p](https://doi.org/10.1016/0094-114x(94)00062-p)
- [4] K. Y. Hao, L. X. Mei, Z. M. Ripin: *Tuned vibration absorber for suppression of hand-arm vibration in electric grass trimmer*, International Journal of Industrial Ergonomics, vol. 41, no. 5, pp. 494–508, 2011 <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.05.005>
- [5] W.-T. Chang, Y.-E. Hu, W.-C. Chang: *An Improved Design for Rotating Balance of Assembled Type Conjugate Disk Cams*, Mechanism and Machine Theory, vol. 171, 2022, p. 104700 <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2021.104700>
- [6] R. C. Andrade Lima, Q. Soares Rocha, A. C. Cazani, J. E. Guarnetti dos Santos, D. Simões: *Assessment of Hand-Arm Vibration in Semi-Mechanized Gardening Activities*, Journal of Vibration Engineering & Technologies, vol. 10, no. 6, pp. 2143–2149, Apr. 2022 <https://doi.org/10.1007/s42417-022-00480-5>
- [7] K. Y. Hao and Z. M. Ripin, *Nodal control of grass trimmer handle vibration*, International Journal of Industrial Ergonomics, vol. 43, no. 1, pp. 18–30, Jan. 2013, <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2012.10.007>
- [8] J. O. Rawlings, S. G. Pantula, D. A. Dickey: *Applied Regression Analysis: a Research Tool {Springer Texts in Statistics}*, Dordrecht: Springer-Verlag New York Inc, 2001, ISBN 9780387227535
- [9] J.-P. Corriou: *Numerical Methods and Optimization: Theory and Practice for Engineers*, Cham: Springer International Publishing Ag, 2022, ISBN 9783030893668
- [10] S. D. Casey, M. Maurice Dodson, Paulo, A. Zayed: *Sampling, Approximation, and Signal Analysis*. Springer Nature, 2024, ISBN 9783031411304