

Spiroid csigahajtómű zaj- és rezgésdiagnosztikai vizsgálata

Noise and Vibration Analysis of Spiroid Gear Box

Diagnosticarea vibroacustică a unui reductor melcat spiroid

Dr. BODZÁS Sándor¹, DUDÁS Illés Szabolcs², Dr. HORVÁTH Róbert³,
MÁNDY Zoltán⁴, Prof. Dr. DUDÁS Illés⁵

¹Ph.D., főiskolai docens, ²közgazdász, ³C.Sc., főiskolai tanár,

⁴Ph.D. hallgató, tanársegéd, ⁵D.Sc., professzor emeritus

¹Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, 4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

²Invest – Trade Kft., Miskolc, Szentpéteri kapu 5-7.

^{4,5}Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet, 3515, Miskolc, Egyetemváros

^{3,4}Nyíregyházi Főiskola, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszék,
4400, Nyíregyháza, Sóstói u. 31/B.

¹bodzassandor@eng.unideb.hu, ²dudasi@elan3500d.com,

³horvath.robert@nyf.hu, ⁴zoltan.mandy@uni-miskolc.hu, ⁵illes.dudas@uni-miskolc.hu

ABSTRACT

The ambition is global fact for noise and vibration poor construction. The importance of noise level analysis is justified by the ambition of health protection, the improvement and conservation of the productive capacity of worker. A new geometric conical worm gear drive has been infiltrated to a power transmission and during the drive pair running we have done noise and vibration analysis among working circumstances. The received results were appreciated according to the requirements of regulations [1, 7].

Keywords: noise, vibration, spiroid worm, power transmission

ÖSSZEFOGLALÓ

A zaj- és rezgésszegény konstrukció kialakítására való törekvés világjelenség. A zajszintvizsgálat fontosságát a dolgozó egészségének védelme és egyben teljesítőképességének megőrzésére, javítására való törekvés indokolja. Egy új geometriájú kúpos csigahajtópárt a legyártás után hajtóműházba beépítettünk és üzemi körülmények között a hajtópár bejáratása során zaj- és rezgésdiagnosztikai vizsgálatokat végeztünk. A kapott eredményeinket a vonatkozó rendeletek [1, 7] követelményeinek megfelelően értékeltük ki.

Kulcsszavak: zaj, rezgés, spiroid csiga, hajtómű

1. BEVEZETÉS

A gépiparban egyre nagyobb teret hódít az a követelmény, hogy a gépek, berendezések egy megengedett zaj értéknél csendesebben működjenek. Ebből következik az is, hogy a zajtűrések esetében a megengedett felső határérték egyben a tűrés. Ezért zajtűrésnél csak a felső határérték, azaz a megengedhető legnagyobb zaj értékének meghatározásával kell foglalkozni.

A tengelymetszetben körív profilú hengeres [3] és a tengelymetszetben egyenes profilú kúpos csigahajtások [6] előnyös tulajdonságait ötvözve kifejlesztettünk egy új geometriájú kúpos csigahajtást a tengelymetszetben körív profillal (1. ábra) [4, 5].

A hajtópárt legyártottuk a DifiCAD Mérnökiroda Kft.-nél (Miskolc, Szentpéteri kapu 2-4.), majd hajtóműházba építettük és zaj- és rezgésdiagnosztikai vizsgálatokat végeztünk.

A vizsgálatokhoz a Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszékén található 8 csatornás SOUNDBOOK zaj- és rezgésanalizátor mérőműszert alkalmaztuk (2. b ábra).



1. ábra

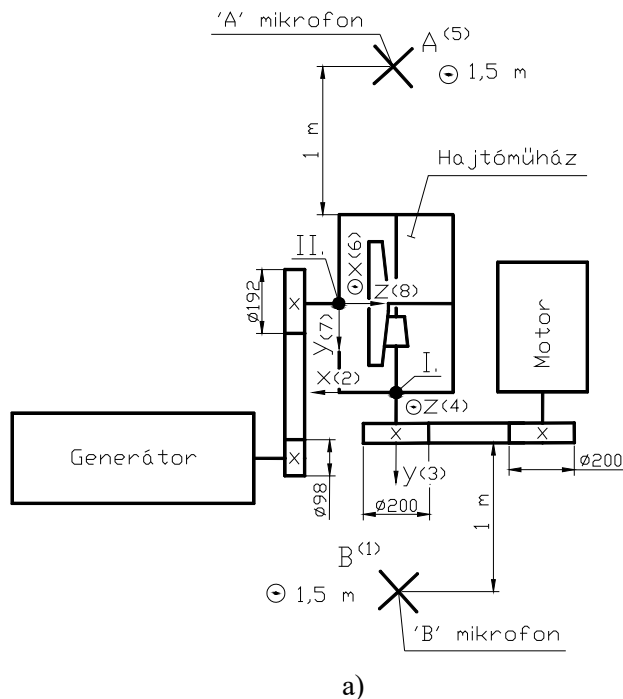
Új geometriájú kúpos csigahajtópár CAD modellje [2, 4]

2. A MÉRÉSEK VÉGREHAJTÁSA

A rezgésérzékelőket a csigatengely behajtó, és a csigakerék kihajtó csapágyazási helyeire szereltük fel, mivel a legnagyobb rezgés értékek itt ébrednek a 2.a ábra szerinti elrendezésben. A zaj méréséhez két mikrofont ('A' és 'B') használtunk.

A 2. ábrán I., II.-el vannak jelölve a rezgésérzékelők illetve A és B-vel a mikrofonok. Minden rezgésérzékelőhöz három, egymásra merőleges koordináta irány (x, y, z) tartozik. Minden koordinatáirány mellett a csatorna száma van zárójelben.

A hajtóművet $n=1440$ 1/min fordulatszámú, $P_m=5,5$ kW teljesítményű villamos motorral hajtottuk meg. A motort és a csigatengelyt egy $i=1$ áttételű ékszíjhajtás köti össze. A csiga és a csigakerék közötti áttétel $i_{cs}=41$. A hajtómű minősítése céljából 5 mérést végeztünk. A zajméréseket a zajszintmérő „A” és „C” súlyozó szűrőjével végeztük el az [1] rendelet alapján.



2. ábra

A mérés elvi elrendezése (a) és a SOUNDBOOK zaj- és rezgésanalizátor (b)

3. ZAJ MÉRÉS KIÉRTÉKELÉS

A frekvencia elemzéshez sávszűrőket alkalmazunk. A sávszűrők a hangenergiát meghatározott frekvenciahatárok között, azaz meghatározott frekvenciasávban átengedik, e sávon kívül azonban visszatartják [8].

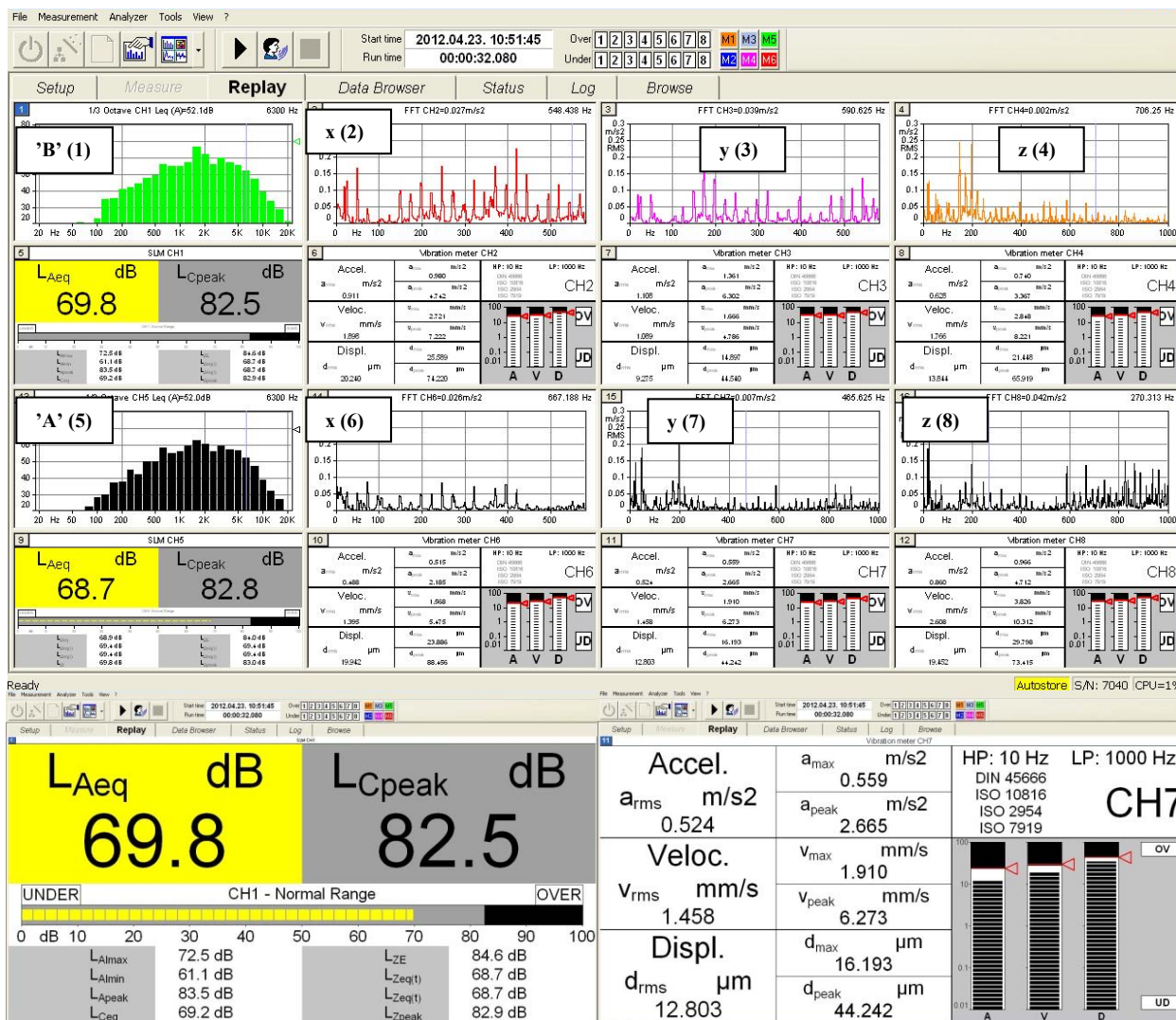
A zaj emberre gyakorolt hatásának jellemzésére szabványosan az A-hangnyomásszintet alkalmazzuk. Az A szűrő mellett szabványosítottak más súlyozószűrőket is (B, C, D szűrők).

A környezetünkben észlelt zajok többsége nem állandó, hanem az idő függvényében kisebb vagy nagyobb mértékben változik. Az időben változó zajok jellemzésére olyan állandó zajt kell keresni, amelynek hatása az emberre ugyanaz, mint a vizsgált változó zajé. Ez az egyenértékű A-hangnyomásszint (L_{Aeq} [dB(A)]) [1, 8]:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T_m} \int_{t_0}^{t_1} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (1)$$

ahol:

- T_m mérési időtartam ($T_m = t_1 - t_0$) [s];
- p_A az A súlyozó szűrővel korrigált pillanatnyi hangnyomás [Pa];
- p_0 a vonatkoztatási hangnyomás ($p_0 = 2 \cdot 10^{-5} Pa$);



3. ábra
Zaj- és rezgésmérés eredmények az I. mérés esetén

A munkatéri zaj minősítéséhez az L_{Aeq} egyenértékű A hangnyomásszintet és az L_{Cpeak} (C súlyozó szűrővel mért csúcserték) hangnyomásszinteket kell mérni. Mivel 5 azonos időtartamú mérést végeztünk két mikrofonnal, ezért a mért L_{Aeq} értékeket átlagolni kell mindkét mikrofon esetén, az alábbi módon (1. táblázat):

$$L_{Aeq(átlag)} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{Aeqi}} \right) \quad (2)$$

Az $L_{Aeq(átlag)}$ –ok ismeretében meghatározzuk mindkét mikrofon esetére a napi zajexpozíció szintjét [1], ami a zajexpozíció idővel súlyozott átlaga egy nyolcórás munkanapra vonatkoztatva:

$$L_{EX,8h} = 10 \cdot \lg \left(\frac{\tau}{T} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{Aeq(átlag)}} \right) \quad (3)$$

ahol:

- T megítélési idő (28800 s);
- τ értékelési idő (8 h).

Az egyes tercsáv középfrekvencia értékekhez tartozó tercsáv egyenértékű A-hangnyomásszint értékeket külön-külön mindkét mikrofon esetén mind az 5 mérési sorozatra átlagoltuk (4. ábra).

1. táblázat: Zajmérés eredményeink ('B' és 'A' mikrofon)

a) 'A' mikrofon előreajtás oldal					
Mérés	L_{Aeq} [dB(A)]	L_{Cpeak} [dB(C)]	L_{Aeq} [dB(A)] átlag	$L_{EX,8h}$ [dB(A)]	L_{max} [dB(C)]
1.	68,7	82,8	69	69	94
2.	69,1	82,8			
3.	69,4	94,1			
4.	69	82,2			
5.	69,6	90,7			

b) 'B' mikrofon előreajtás oldal					
Mérés	L_{Aeq} [dB(A)]	L_{Cpeak} [dB(C)]	L_{Aeq} [dB(A)] átlag	$L_{EX,8h}$ [dB(A)]	L_{max} [dB(C)]
1.	69,8	82,5	70	70	93
2.	69,7	82,8			
3.	69,9	89,6			
4.	69,4	82,3			
5.	70,5	92,5			

c) 'A' mikrofon hátrahajtás					
Mérés	L_{Aeq} [dB(A)]	L_{Cpeak} [dB(C)]	L_{Aeq} [dB(A)] átlag	$L_{EX,8h}$ [dB(A)]	L_{max} [dB(C)]
1.	71,3	87,8	68	68	88
2.	66,6	86,2			
3.	67,3	85,6			
4.	66,7	87,8			
5.	65,9	83,5			

d) 'B' mikrofon hátrahajtás					
Mérés	L _{Aeq} [dB(A)]	L _{Cpeak} [dB(C)]	L _{Aeq} [dB(A)] átlag	L _{EX,8h} [dB(A)]	L _{max} [dB(C)]
1.	71	87	68	68	89
2.	67,1	84,4			
3.	66,1	86,7			
4.	66,7	88,8			
5.	65,8	82,8			

Az L_{max} legnagyobb hangnyomásszint meghatározásához az 'A' és a 'B' mikrofonokkal mért legnagyobb L_{Cpeak} értéket kell kiválasztani (1. táblázat) [1]:

$$L_{\max} = \max_i \{L_{Cpeak_i}\} \quad (4)$$

Az [1] rendelet alkalmazásában a napi zajexpozíció szintjére és a legnagyobb hangnyomásszintre vonatkozó zajexpozíciós határértékek ismeretében megállapítható, hogy:

• **Előrehajtás oldal:**

'A' mikrofon esetén:

$$L_{EX,8h} = 69dB(A) < 87dB(A)$$

$$L_{\max} = 94dB(C) < 140dB(C)$$

'B' mikrofon esetén:

$$L_{EX,8h} = 70dB(A) < 87dB(A)$$

$$L_{\max} = 93dB(C) < 140dB(C)$$

• **Hátrahajtás oldal:**

'A' mikrofon esetén:

$$L_{EX,8h} = 68dB(A) < 87dB(A)$$

$$L_{\max} = 88dB(C) < 140dB(C)$$

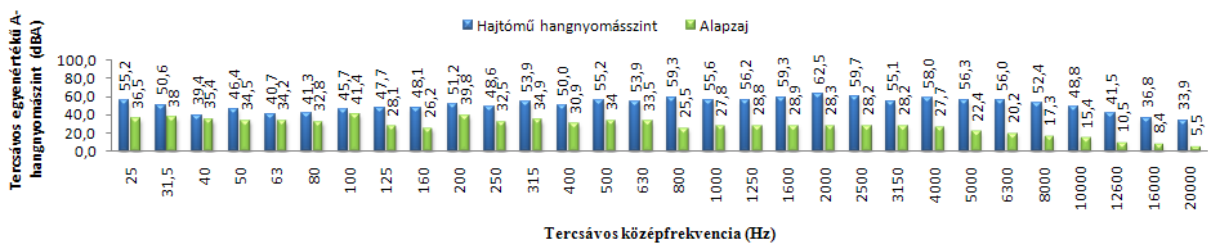
'B' mikrofon esetén:

$$L_{EX,8h} = 68dB(A) < 87dB(A)$$

$$L_{\max} = 89dB(C) < 140dB(C)$$

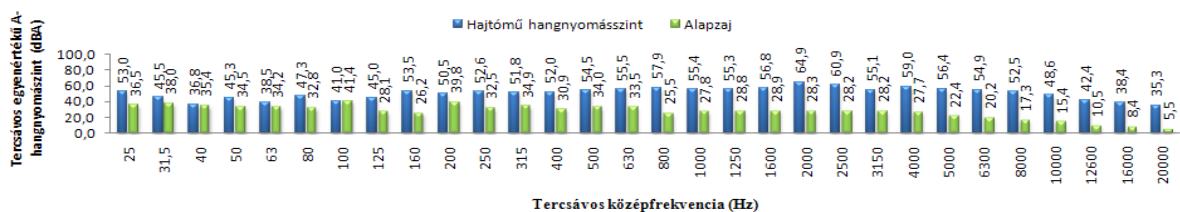
Az [1] rendelet szerint ha az L_{EX,8h} és/vagy az L_{max} legnagyobb hangnyomásszint érték legalább 3 dB-el kisebb a követelményeknél, akkor megfelel a zajterhelés.

'A' mikrofon előrehajtás oldal



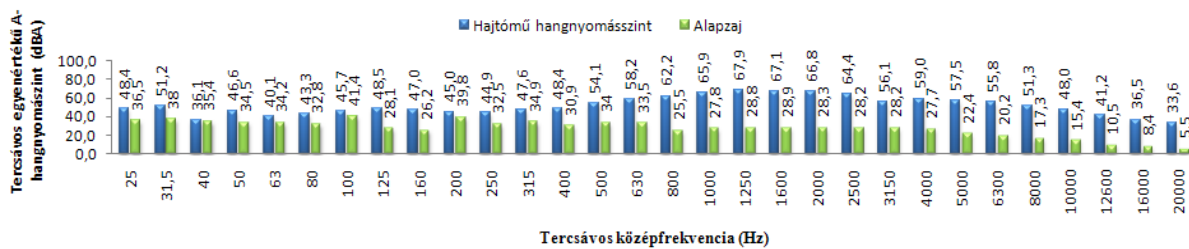
a)

'B' mikrofon előrehajtás oldal



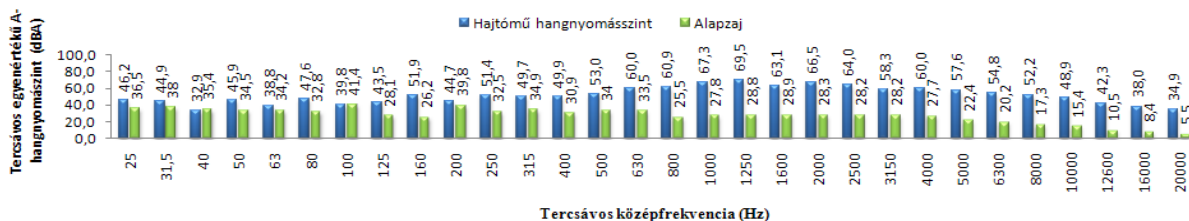
b)

'A' mikrofon hátrahajtás oldal



c)

'B' mikrofon hátrahajtás oldal

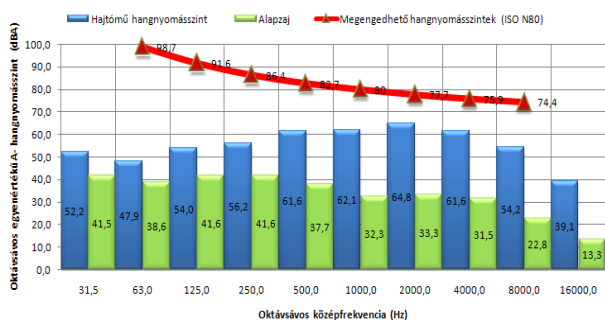


d)

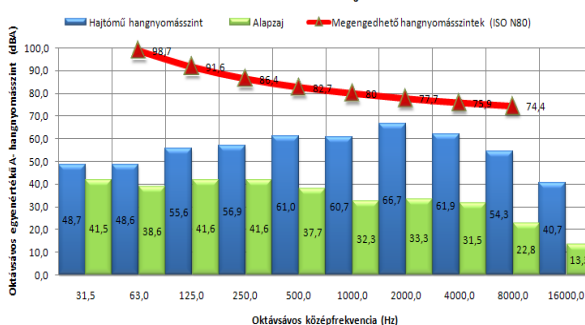
4. ábra

Az 'A' és 'B' mikrofonokon mért tercsávós egyenértékű A-hangnyomásszint átlagértékek (az 5 mérés átlagai) előre- és hátrahajtás oldal esetén

'A' mikrofon előrehajtás oldal

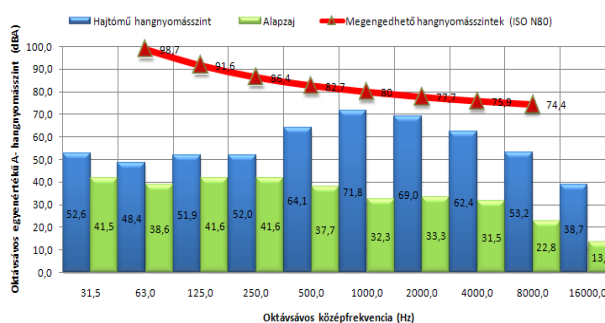


'B' mikrofon előrehajtás oldal

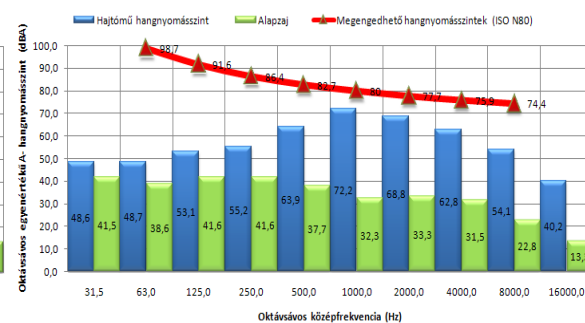


a)

'A' mikrofon hátrahajtás oldal



'B' mikrofon hátrahajtás oldal



b)

5. ábra

Az 'A' és 'B' mikrofonokon mért oktávós egyenértékű A-hangnyomásszint átlagértékek (az 5 mérés átlagai) előre- és hátrahajtás oldal esetén

A kapott mérési L_{Aeq} adatokat (4. ábra) tercésávból oktávsvávba átszámítottuk (5. ábra) az 5-5 mérés eredményeit átlagoltuk mindkét mikrofon esetére.

Az 5. ábrán láthatóak az alapzaj és a hajtómű oktávsváv egyenértékű A - hangnyomásszint az oktávsváv középfrekvencia függvényében, továbbá látható, hogy ezen értékek az N80-as halláskárosodási határgörbe alatt helyezkednek el.

Megállapítható, hogy a kúpos csigahajtómű zaj szempontjából az [1] rendelet és a [9] irodalom alapján megfelel.

4. REZGÉSMÉRÉS KIÉRTÉKELÉS

Egy adott rezgés egy meghatározott időszakban számos, különböző nagyságú és előjelű függvényértékkel írható le. Ha a rezgésállapotot egyetlen számértékkel kívánjuk jellemezni, akkor az időfüggvény pillanatnyi értékei helyett a négyzetes középértéket, vagyis az ún. effektív értéket alkalmazzuk [8].

A rezgésebesség ($v_{r.m.s.}$) négyzetes középértéke az adott időtartam alatti (folytonos időfüggvény esetén) a rezgésebesség értékek négyzetes integrált átlagértékének négyzetgyöke:

$$v_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} [v(t)]^2 dt} \quad (6)$$

A 2. táblázatban összefoglaltuk mind az 5 mérésre az egyes koordináta irányokban mért rezgésebesség négyzetes középértékeket.

A minősítéshez ki kell választanunk a mérési eredmények közül mindkét mérési pont esetén a v_{rms} csúcserőértéket (2. táblázat):

$$v_{r.m.s.(max)} = \max_i \{v_{r.m.s.i}\} \quad (7)$$

A kúpos csigahajtómű az I. géosztályba tartozik a [7] szabvány alapján.

A legnagyobb mért rezgésebesség négyzetes középértékek (2. táblázat) alapján megállapítható, hogy a hajtómű mindkét mérési pontban rezgésdiagnosztikai szempontból a jó tartományba sorolható a [7] szabvány szerint.

2. táblázat: Rezgésmérés eredmények

Mérés	Rezgésebesség négyzetes középérték ($v_{r.m.s.}$) [mm/s]					
	1. Mérés pont			2. Mérés pont		
	2	3	4	6	7	8
1	1,89	1,08	1,76	1,26	1,45	2,6
2	2,36	1,51	2,41	1,42	1,76	3,31
3	2,46	1,38	2,45	1,41	1,74	3,28
4	2,44	1,36	2,57	1,49	1,46	3,21
5	2,61	1,63	2,57	1,42	1,98	3,06
Csúcserőérték	2,46			3,31		

ÖSSZEFOGLALÁS

Egy új geometriájú kúpos csigahajtást fejlesztettünk ki tengelymetszetben körív profillal. A kúpos csigahajtópárt a gyártásfejlesztés és tényleges legyártás után hajtóműházba építettük. Üzemi körülmények között járattuk a hajtást és zaj- és rezgés méréseket végeztünk. A kapott eredményeket a rendeletek [1, 7] és a szakirodalom [9] követelményeinek megfelelően kiértékeljük.

Eredményül azt kaptuk, hogy ezen kúpos csigahajtópár zaj- és rezgésdiagnosztikai szempontból megfelel az előírt követelményeknek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kúpos csigahajtópár gyártásának fejlesztése, gyártása, a hajtóműházba való beépítése és zaj- és rezgés vizsgálata Miskolcon a **DifiCAD Mérnökiroda Kft.**-nél történt. Ügyvezető igazgató: **Prof. Dr. Dudás Illés.**

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 66/2005. (XII.22.) EüM rendelet a munkavállalókat érő zajexpozícióra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről, p. 9.
- [2] **BODZÁS S.:** *Kúpos csiga-, tányérkerék- és szerszám felületek kapcsolódásának elemzése*, Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, 2014., p. 154., Doktori témavezető: Prof. Dr. Dudás Illés, DOI 10.14750/ME.2014.006
- [3] **DUDÁS, I.:** *Csigahajtások elmélete és gyártása*, Műszaki és Könyvkiadó Kft., 2007., p. 334., ISBN 978-963-16-6047-0
- [4] **DUDÁS I., BODZÁS S., DUDÁS I. SZ., MÁNDY Z.:** *Konkáv menetprofilú spiroid csiga hajtópár és eljárás annak készüreléssel történő előállítására*, Szabadalmi bejelentés napja: 2012.07.04., Szabadalmi lajstromszám: 229 818
- [5] **DUDÁS, I., BODZÁS, S., DUDÁS I. SZ., MÁNDY, Z.:** *Development of spiroid worm gear drive having arched profile in axial section and a new technology of spiroid worm manufacturing with lathe center displacement*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer, ISSN 0268-3768 (Online), 2015.03.14. (Online), Volume 77, Number 5-8. (2015), (IF 1.458), DOI 10.1007/s00170-015-6953-1
- [6] **HEGYHÁTI, J.:** *Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben*. Dissertation, TU Dresden, 1988.
- [7] *Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts*, ISO 10816-3, International Standard
- [8] **WALZ, G.:** *Zaj- és rezgésvédelem*, CompLex Kiadó Jogi és Üzleti Tartalomszolgáltató Kft., Budapest, 2008, p. 242., ISBN 978 963 224 954 4
- [9] **SOLTI, E.:** *A gazdaságos gyártás tűréstechnikai számításai*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1968.