

TERMIKUSAN TESZTELT GENERÁTOR ÁLLÓRÉSZEK HENGERESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

Ferencsik Viktória

egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: ferencsik.viktoria@uni-miskolc.hu

Varga Gyula

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: gyula.varga@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A tanulmány a generátor állórészek belső alakhibájának vizsgálatával foglalkozik, melyet magas és alacsony hőmérsékleten való tesztelési eljárás idéz elő. Ez a fajta meghibásodás befolyásolhatja a generátorok megfelelő működését, mivel a generátor egy másik alkatrészének, a rotornak a forgása során rezgések léphetnek fel. Kijelenthető, hogy ennek a hibának a hatása csökkenti a generátor teljesítményét. A publikáció célja annak vizsgálata, hogy a különböző tesztelési paraméterek úgy, mint hőmérséklet, tesztelési idő, az állórész el van-e látva rezgéscsillapító gyűrűvel vagy sem, milyen hatással bírnak. A kísérlet megtervezéséhez és végrehajtásához a teljes faktoriális kísérlettervezés módszert alkalmaztuk. Az egyes elemek hengerességének mérése Taylor Hobson Talyron 365 gyártmányú köralak- és helyzethiba-mérőberendezésen valósult meg. A mért adatokból speciális viszonyszámokat alkottunk, annak érdekében, hogy meghatározzuk azt a paramétertartományt, mely a legnagyobb mértékű deformációt okozza.

Kulcsszavak: generátor, faktoriális kísérlettervezés, klimatikus vizsgálat, alakhelyesség, 3D diagram

Abstract

This paper investigates the internal shape correctness of alternator stators which is caused by high and low temperature storage test. This kind of failure can affect the adequate operation of alternators since vibrations can occur during rotation of the other part of the alternator, the rotor. It can be stated that the effects of this error reduce the efficiency of the alternator. The aim of this study is to examine the influence of different testing parameters, such as the temperature and the running time of the test and that the stator is equipped with damping element or not. To planning and executing the experiments we use full factorial experimental design method. The measurement of the cylindricity of the specimens was done with a circular and position error measuring machine type Taylor Hobson Talyron 365. From the measured data, special improvement ratios can be calculated in order to define the appropriate range of testing parameters which results greater deformity.

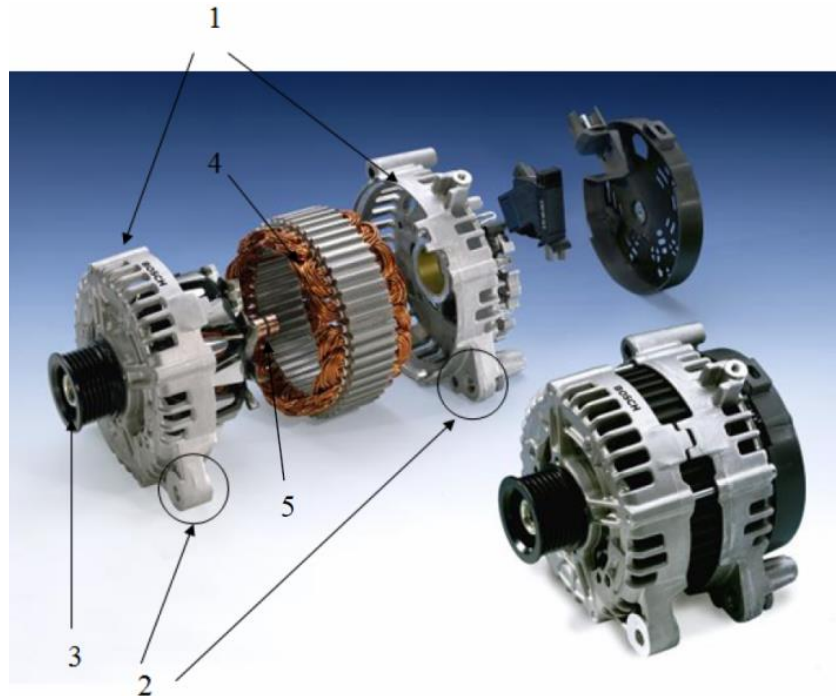
Keywords: Alternator, factorial experimental design, climatic test, shape correctness, 3D diagram

1. Bevezetés

Manapság a személygépjárművek egyre több elektromos és elektronikai eszközzel vannak ellátva a nagyobb biztonság és kényelem érdekében [1,2]. Ezeknek az eszközöknek a működése általában a jármű akkumulátorával valósul meg, melynek folyamatos töltést biztosít a generátor, vagyis az a forgó

villamos berendezés, amely a tengelyükön bevezetett mechanikai energiát villamos energiává alakítja [3].

A generátor felépítését tekintve áll egy gerjesztett forgórészből és egy egy- vagy többfázisú tekercsrendszerrel ellátott állórészből, melyet „statornak” is nevezünk. Az állórész csapágypajzsai, illetve az abban elhelyezett csapágyak tartják középpontban a forgórészt, biztosítva annak sima és stabil futását (1. ábra).



1. ábra A generátor részei. [4]

1. Első és hátsó pajzs, 2. szerelési (felfogató) fűlek, 3. ékszíjtárcsa, 4. stator tekercselése, 5. forgórész

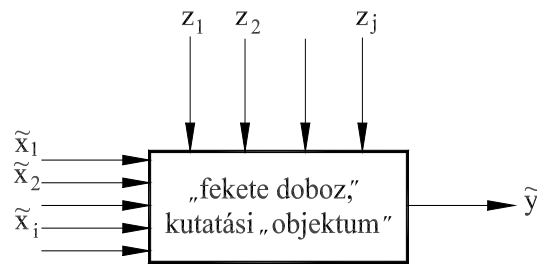
Tehát a gerjesztett forgórészt mechanikai energiával forgatják a generátor tengelyére csatlakozó valamilyen erőgéppel és ennek következtében a forgórész indukciójai metszik az állórész tekercsrendszerét, melynek hatására feszültség jön létre. Az indukált feszültség frekvenciája függ a rotor sebességétől, így ha a rotor nem képes adott sebességgel forogni az állórész nem megfelelő hengeressége miatt, akkor csökken a teljesítmény, ráadásul rezgéseket és zajt is generál.

A gyártók nagy hangsúlyt fektetnek a különböző tesztelési eljárások elvégzésére, jelen tanulmány célja pedig az volt, hogy vizsgálat alá vonjuk a generátor-állórész hengerességi hibáját, melyet alacsony és magas hőmérsékleten tartottak adott tesztelési módszerek megfelelően. A kutatómunkához felhasználtuk a teljes faktoriális kísérlettervezés módszerét [5,6], mely a bemenő paraméterek maximuma és minimuma között érvényes. Jelen kísérletben, elsősorban tesztelési folyamat beállítható értékei alapján, a hőmérsékletet (T), a teszt futási idejét (t) és a zajcsillapító gumigyűrű (GGY) meglétét határoztuk meg bemenő paraméterként, ez utóbbi a hátsó csapágypajzs és az állórész között helyezkedik el.

2. Kísérleti körülmények

2.1. Alkalmazott kísérlettervezési módszer

A kísérlet megtervezéséhez és végrehajtásához a teljes faktoriális kísérlettervezés módszerét választottuk, melynek alapmodellje a 2. ábrán látható



2. ábra A kísérlettervezés alapmodellje. [6]

A cél a függő változó (\tilde{y}) és a független változók (\tilde{x}_i) közötti függvénykapcsolat meghatározása. Mindegyik független változó, vagyis faktor több értéket vehet fel, melyeket szinteknek nevezünk.

Jelen kísérletben faktorként a tesztelési hőmérsékletet (T), időtartamot (t) és a zajcsillapító gumigyűrűvel való ellátottságot (GGY) vizsgáltuk, értékeiket a kísérlettervezési módszernek megfelelően 2 szintre állítottuk be, egy adott ipari szabványban [7] meghatározottak szerint, ezt foglalja össze az alábbi táblázat.

1. táblázat. Beállított kísérleti paraméterek

Ssz.	Tesztparaméterek			Transzformált paraméterek		
	T [°C]	t [h]	Gumigyűrű (GGY)	x_1	x_2	x_3
1	-40	150	nincs	-1	-1	-1
2	130	150	nincs	+1	-1	-1
3	-40	300	nincs	-1	+1	-1
4	130	300	nincs	+1	+1	-1
5	-40	150	van	-1	-1	+1
6	130	150	van	+1	-1	+1
7	-40	300	van	-1	+1	+1
8	130	300	van	+1	+1	+1

Vizsgálataink során a hengeresség változásának szemléletesebbé tételéhez létrehoztunk egy dimenzió nélküli viszonyszámot, melyet az alábbi képletek alapján számítottunk ki:

$$\rho_{CYL} = \frac{CYL_{utána}}{CYL_{előtte}} \tag{1}$$

$$\rho\% = (\rho - 1) \cdot 100\% \tag{2}$$

ahol:

ρ_{CYL}	A különböző hengerességi paraméterek javulási dimenzió nélküli viszony-száma, mely a termikus teszt hatására bekövetkező változásokat mutatja
$CYL_{utána}$	A termikusan tesztelt statorok hengeressége
$CYL_{előtte}$	A statorok hengeressége a termikus tesztet megelőzően
$\rho\%$	Az eltérés százalékos értéke

Minél kisebb ρ_{CYL} értéke, annál nagyobb a javulás mértéke.

2.2. A tesztelési folyamat

Az elemzés tárgyához tartozó teszt módszer célja annak vizsgálata, hogy az adott alkatrész alkalmas-e alacsony (-40°C) és magas hőmérsékleten (130°C) való tartásra, valamint üzemeltetésre, anélkül, hogy az egyes felületelemeken törés, felkeményedés, stb. keletkezne.

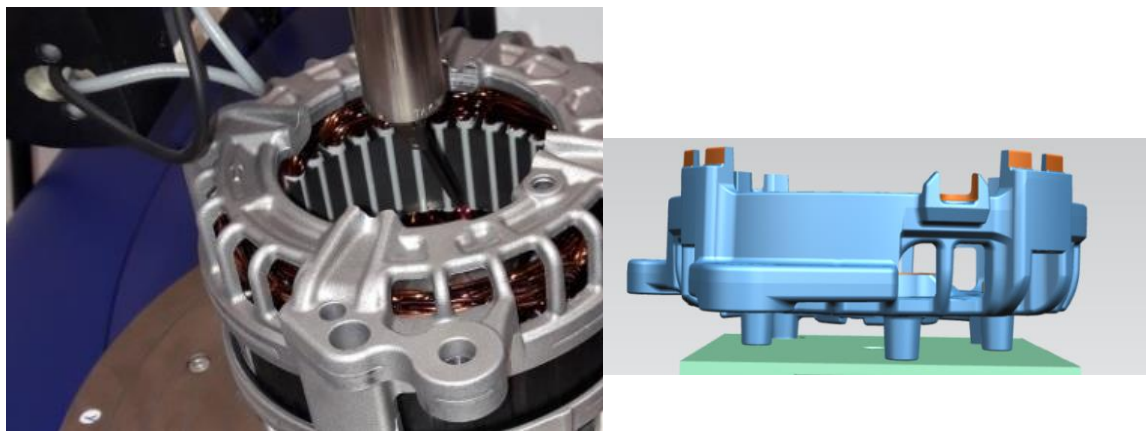
A magas és alacsony hőmérsékleten való tárolási vizsgálat egy álló kivitelű Weiss WK1 180 gyártmányú klimatikus teszt kamrában lett végrehajtva, melynek hőmérséklettartománya -40°C és $+180^{\circ}\text{C}$ között terjed. A berendezés tartalmaz egy szabadalmaztatott klíma- és hőmérsékletkondicionáló rendszert, melynek segítségével a melegítés és hűtés sebességét egyaránt $4^{\circ}\text{C}/\text{perc}$ értékre állítottuk be.

Az egyes pajzsokkal összeszerelt állapotban lévő statorok elhelyezése vízszintesen történt a kamrában, annak érdekében, hogy elkerüljük a darab saját súlyából származó esetlegesen fellépő deformációkat.

2.3. A hengeresség mérése

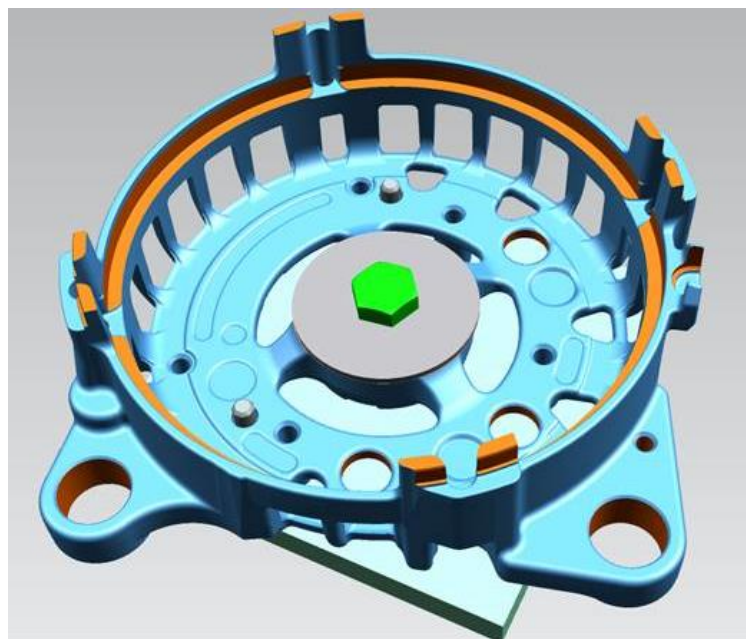
Az állórészek hengerességének mérése a Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézetébe telepített Taylor Hobson Talyrond 365 gyártmányú köralak- és helyzethiba mérőberendezésen történt, melynek alapfunkciói közé tartozik a tengelyre merőleges metszetbeli hibák feltárásakor a forgó munkadarabon a kívánt függőleges helyzetben rögzített mérőelemmel történő profilletapogatás. Ez a funkció alkalmas (többek között) a köralak és hengerességi hiba feltárására, kiértékelésére [8]. A hengerességet úgy értékeli, hogy kombinál egy bizonyos számú körkörösségi mérést, melyeket a vizsgálandó darabok különböző magasságaiban mért, jelen kísérletnél 30 mm-es mérési tartományban 2 mm-ként végeztük el mérést, tehát 16 mérési sík összehasonlítása történt μm -es pontossággal.

Vizsont, ahogy azt már ismertettük, az állórészeket a védőpajzsokkal összeszerelve vizsgáltuk, azonban a belső hengeres felület elemzéséhez szükséges volt egy adott átmérőjű furat forgácsolására az első pajzson, a tapintófej megfelelő hozzáférése érdekében, ezt szemlélteti a 3. ábra.



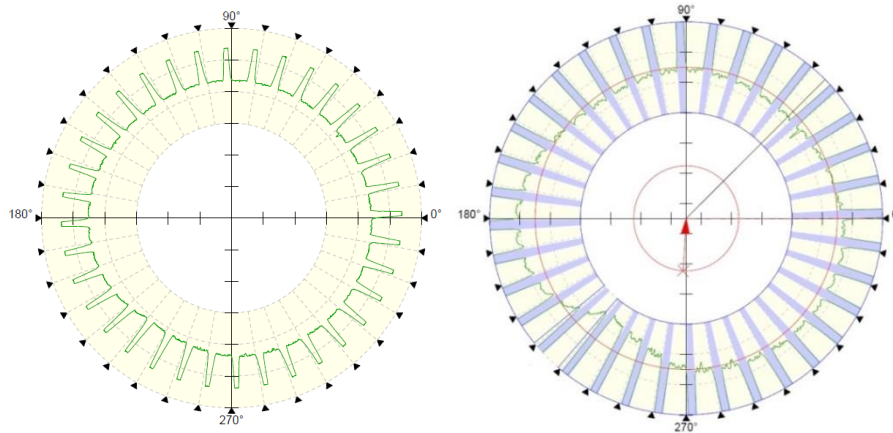
3. ábra Mérési pozíció

Továbbá, szükség volt egy rögzítő készülék tervezésére (4. ábra) is, mivel az alkatrész geometriájából adódóan azt nem tudtuk vízszintesen elhelyezni a mérőberendezés asztalán, pedig ez elengedhetetlen a sikeres mérési folyamathoz, hiszen a mérendő darab és a tapintó forgástengelyének egybe kell esnie, mely adott tűréssel megvalósítható a berendezés saját szoftverének segítségével.



4. ábra A pozicionáló készülék modellje

Mivel a generátor állórész belső felülete lamelláris szerkezetű, tehát nem alkot összefüggő köralakot, így elengedhetetlen volt a mért eredmények utólagos analizálása ahhoz, hogy kiszűrjük a geometriából adódó tévesen hengerességi hibaként detektált felületelemeket, ahogyan azt az 5. ábra szemlélteti.

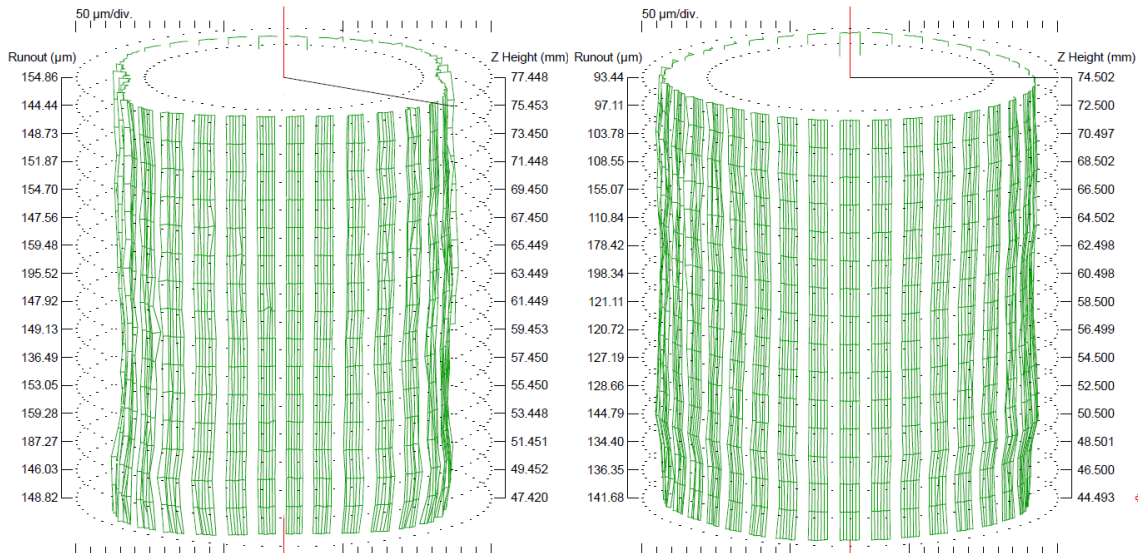


5. ábra Köralak-helyesség analízis előtt (bal) és után (jobb)

A hengerességet jellemző paraméterek közül a működési tulajdonságokat leginkább befolyásoló 4 jellemzőt vettük figyelembe, melyek:

- CYLp: az anyag legnagyobb eltérése csúcsok (peak) formájában referenciahengerhez viszonyítva
- CYLv: az anyag legnagyobb eltérése bemélyedések (valley) formájában referenciahengerhez viszonyítva
- CYLt: a kiemelkedések és árkok összegzett távolsága
- CYLtt: a kúposág mértéke [8]

A hengeresség teljes jellemzéséhez szükséges a mért értékek 3D-s ábrázolása is, melyre példaként a 6. ábra a 4-es számmal jelölt generátor állórész alakhelyességének változását mutatja.



6. ábra Köralak-helyesség szerelt (bal) és termikusan tesztelt (jobb) állapotban

Ahogy az egyértelműen látható, szerelt állapotban az állórész négyzetes alapot vesz fel, melynek számszerű értékét eddig nem határozták meg, viszont magának a jelenségnek a kialakulását korábban is feltételezték. Ennek oka, hogy az első és hátsó csapágypajzsok szerelése mechanikusan oldható csavaros kötéssel valósul meg, adott nyomatékkal, 4-4,6 Nm, való meghúzással, mely torzítja a darab köralak-helyességét. Javaslatot tettünk a nyomaték 3-3,5 Nm-re való csökkentésére és további vizsgálatok elvégzésére, hiszen a hengerességén felül ez a módosítás hatással lehet a generátor további jellemzőire, funkcióira és teljes egészének működésére.

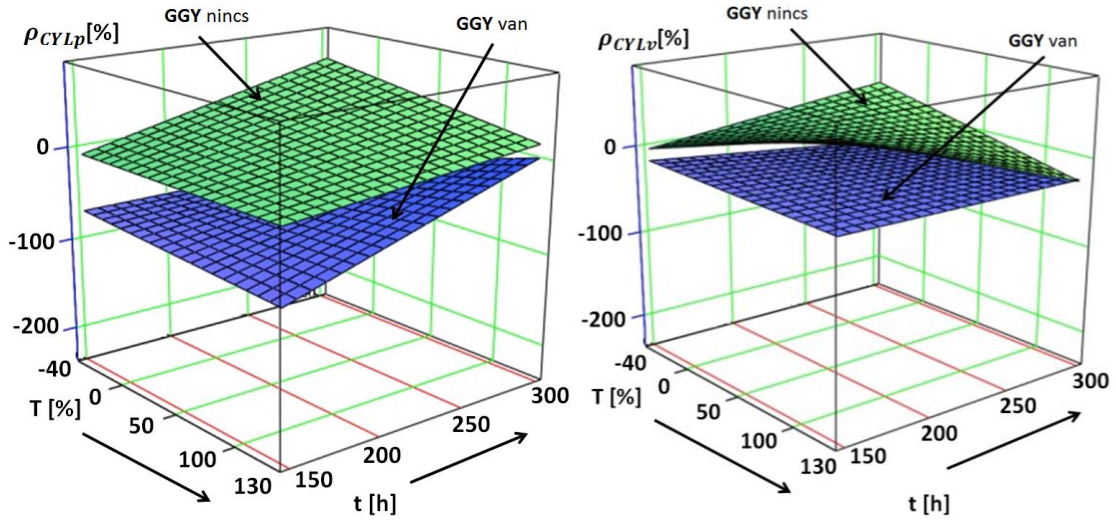
3. Eredmények

A termikus teszt megvalósítása előtt és után is elvégeztük a generátor állórészek belső hengerességének mérését, majd meghatároztuk az (1-2) képletek alapján az egyes viszonyszámok értékeit, ezt foglalja össze a 2. táblázat.

2. táblázat. A mért hengerességi paraméterek és számított viszonyszámok

Ssz.	CYLp [μm]		ρ_{CYLp} [%]	CYLv [μm]		ρ_{CYLv} [%]
	Szerelt	Tesztelt		Szerelt	Tesztelt	
1	101,78	94,25	-7,39	150,81	146,06	-3,15
2	116,71	107,62	-7,79	112,70	191,38	69,81
3	79,08	123,36	-55,99	87,71	114,84	30,93
4	113,97	132,56	16,31	116,23	85,84	-26,15
5	294,73	93,27	-66,45	155,11	129,22	-16,69
6	342,20	54,42	-84,09	101,83	77,44	-23,95
7	323,66	108,58	-66,45	125,08	70,39	-43,72
8	66,53	67,88	2,03	149,87	113,14	-24,51
Ssz.	CYLt [μm]		ρ_{CYLt} [%]	CYLtt [μm]		ρ_{CYLtt} [%]
	Szerelt	Tesztelt		Szerelt	Tesztelt	
1	252,59	240,31	-4,86	-177,20	212,87	-220,13
2	229,42	299,01	30,33	157,83	266,24	68,69
3	166,79	238,20	42,81	49,32	85,73	73,82
4	230,20	218,40	-5,13	84,27	135,92	61,29
5	449,83	222,50	-50,54	241,35	-195,43	-180,97
6	444,03	131,86	-70,30	-159,26	76,21	-147,85
7	448,74	178,96	-60,12	-296,11	-147,00	-50,36
8	216,39	181,01	-16,35	-207,73	-169,85	-18,24

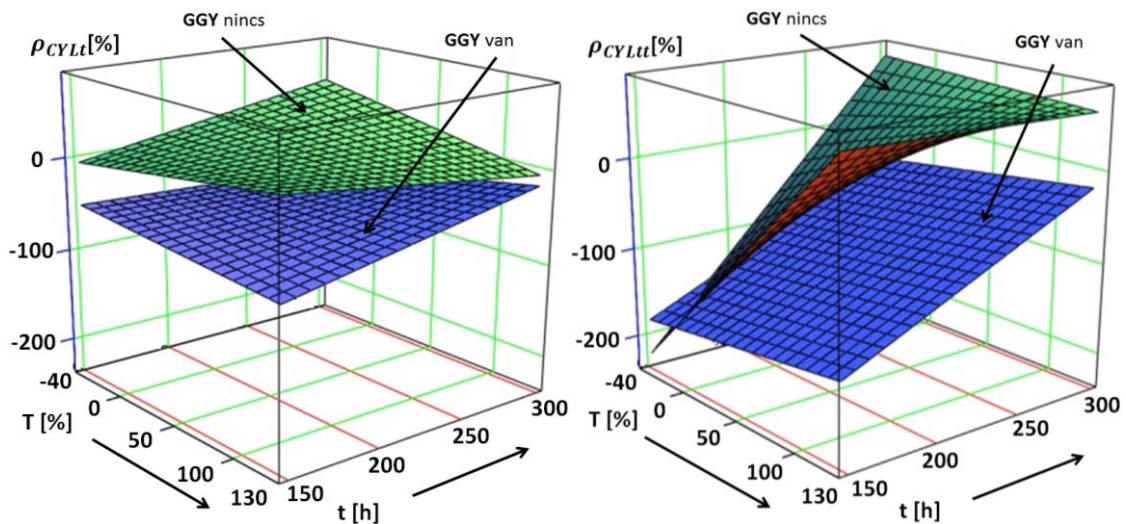
A teljes faktoriális kísérlettervezés módszerének alkalmazásával empirikus formulákat (3-6 egyenletek) alkottunk, majd a MathCAD 15.0 program segítségével az eredményeket axonometrikus ábrák formájában is demonstráljuk (7-8. ábra).



7. ábra A hengeresség változása a kiemelkedések (bal) és bemélyedések (jobb) szempontjából

$$\rho_{CYLp} = -77,709 - 0,18 \cdot T + 0,253 \cdot t - 16,065 \cdot GGY + 8,81 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot t - 0,409 \cdot T \cdot GGY - 0,108 \cdot t \cdot GGY + 2,422 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot t \cdot GGY \quad (3)$$

$$\rho_{CYLv} = 6,469 + 0,498 \cdot T - 0,058 \cdot t - 4,066 \cdot GGY - 2,031 \cdot 10^{-3} T \cdot t - 0,696 \cdot T \cdot GGY - 0,081 \cdot t \cdot GGY + 3,069 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot t \cdot GGY \quad (4)$$



8. ábra A hengeresség változása a legnagyobb eltérések (bal) és kúposág (jobb) szempontjából

$$\rho_{CYL_t} = -42,626 + 0,103 \cdot T + 0,112 \cdot t - 17,936 \cdot GGY - 3,841 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot t - 0,593 \cdot T \cdot GGY - 0,076 \cdot t \cdot GGY + 2,876 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot t \cdot GGY \quad (5)$$

$$\rho_{CYL_{tt}} = -339,149 + 1,841 \cdot T + 1,177 \cdot t + 35,597 \cdot GGY - 5,948 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot t - 1,641 \cdot T \cdot GGY - 0,308 \cdot t \cdot GGY + 5,909 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot t \cdot GGY \quad (6)$$

4. Összefoglalás

A cikk egy személygépjármű alkatrész, a generátor állórész belső hengeres felületének kísérleti vizsgálatával foglalkozik, melyet termikus tesztnek vetettek alá passzív, tehát működtetés nélküli üzemmódban. Kísérleti paraméterként szerepelt a tesztelési hőmérséklet (T), a teszt futtatási ideje (t), valamint az, hogy az egyes darabok el vannak-e látva zajcsillapító gumigyűrűvel (GGY) vagy sem.

A kísérlet célja az volt, hogy meghatározzuk, ezek a paraméterek hogyan befolyásolják a köralak-helyesség változását, illetve egymással milyen korrelációban állnak. Felhasználtuk a teljes faktoriális kísérlettervezés módszerét, a különböző hengerességet jellemző paraméterek mért és analizált értékeiből kiszámoltuk - az általunk megalkotott formulák szerint - a dimenzió nélküli viszonyszámokat, majd az empirikus képletek felírását követően 3D-s ábrák segítségével is bemutattuk az eredményeket, melyek alapján a következő állításokat tesszük:

- A leggyakrabban használt hengerességet jellemző paraméterhez, a CYL_t eredményeihez kapcsolódó axonometrikus ábrák nagymértékben azonosak a CYL_p értékeihez tartozóhoz, tehát az alakhiba egészét a felület kiemelkedései alkotják,
- A számszerű és ábrázolt eredmények alapján is egyértelműen kijelenthető, hogy a zajcsillapító gumigyűrű alkalmazásának pozitív hatása van
- A hengeresség legnagyobb eltéréseinek szempontjából a legkedvezőbb eredmény a magas hőmérséklet és rövidebb ciklusidő beállításával alakult ki, azonban a kúposág nézőpontjából az alacsony hőmérséklet alkalmazása okozott pozitív változást, mindezek magyarázatául az állórész gyártása során kialakuló, majd a szerelés, termikus teszt során megváltozó feszültségviszonyok szolgálnak, ennek a jelenségnek a további elemzése is tárgyát képezi jövőbeli kutatómunkáknak.

5. Köszönetnyilvánítás

A kutató munka az Európai Unió és a magyar állam támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával, a GINOP-2.3.4-15-2016-00004 projekt keretében valósult meg, a felsőoktatás és az ipar együttműködésének elősegítése céljából.

Irodalom

- [1] Alfarawi, S., Webb-Martin, M., Mahmoud, S., Al-Dadah, R.K.: Thermal Analysis of Stirling Engine to Power Automotive Alternator Using Heat from Exhaust Gases, Energy Procedia 2014, 61:2395-2398. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.013>
- [2] Ayaz, M., Mese, M.: A Permanent Magnet Alternator with Increased Power Capability for Hybrid Electric Vehicle Applications, Electric Power Systems Research 2016, 133:292-303. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.12.035>
- [3] Radács, I.: Elektrotechnika-elektronika, www.tankonyvtar.hu., pp.: 202-226
- [4] Kovács, I.: Generátor elemeinek és a pajzscsapágyán elhelyezkedő lefogató füleinek vizsgálata, Diplomaterv, Miskolc, 2015, pp.: 3-7

- [5] Taguchi, G.: System of experiment design, 1. Experimental design, UNIPUB, Kraus International Publications, White Plains, New York, (1984) p.:143
- [6] Fridrik, L.: Válogatott fejezetek a gépgyártástechnológiai kísérletek tervezése témaköréből, Műszaki Könyvkiadó (1987), p.:109
- [7] Starters E-Components and Generators Automotive generátor tesztkatalógus (2018) 0 121 Y00 203 (bizalmas dokumentáció)
- [8] Varga, Gy. Hepp, I.: A Talyrond 365 típusú köralak- és helyzethiba vizsgáló berendezés használatának kezdő lépései, Oktatási segédlet, Miskolc, (2013), pp.: 5-6