

# SÍKKEREKES HULLÁMHAJTÓMŰ FEJLESZTÉSE A K.K.K. 99 KFT-NÉL

## DEVELOPMENT OF A FLAT WHEEL HARMONIC DRIVE AT K.K.K. 99 CO. LTD.

*Kardos Szilárd tanszéki mérnök,  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezés Tanszék  
Dr. Krisch Róbert ügyvezető  
K.K.K. 99 Kft.*

### ABSTRACT

The functions of the principal members of a flat-wheel harmonic drive are similar to the functions of a traditional harmonic drive, but the features of the flexible and the solid wheels are different. This paper reports the optimization of the basic elements of an experimental flat wheel harmonic drive developed by engineering office K.K.K.99. The stresses rising in the flexible bearing due to deformation by the wave generator were analyzed with the FE method. Deformation results were used to determine the tooth parameters based on generator cam surface.

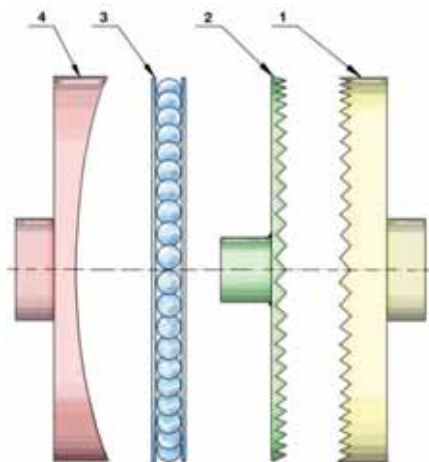
### 1. BEVEZETÉS

A K.K.K. 99 Kft. a GINOP 2.1.7-15 pályázat keretében támogatást nyert síkkerekes hullámhajtóművek fejlesztésére és prototípusainak legyártására. Ezek megfelelő működéséhez elkerülhetetlen, hogy a rugalmas és merev kerék kapcsolódásának paraméterei (deformáció mértéke, fogprofilok, foghézagok nagysága stb.) biztosítsák a két fogazott alapelem fogfej-ütközés és fogfej-interferencia nélküli kapcsolódását. Ehhez ismernünk kell a rugalmas kerék deformált alakját, melyet végeleselemes módszerrel határoztunk meg. Jelen publikáció a hullámhajtómű [1] alapelemek fejlesztésének főbb lépéseit mutatja be.

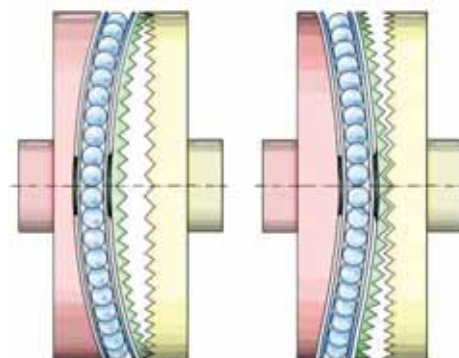
### 2. A SÍKKEREKES HULLÁMHAJTÓMŰ MŰKÖDÉSE, A VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ISMERTETÉSE

A síkkerekes hullámhajtómű működési elvét tekintve nem különbözik a hullámhajtás alapelvétől, tulajdonképpen a hengeres kerekes fogaskerék-hullámhajtómű [1] különleges változatának tekinthető.

Az 1. ábrán a hajtómű alapelemei láthatók. A kéthullámú generátorban a bűtyök munkafelülete két, a hajtómű tengelyére merőleges síkkal  $\beta_g$  szöget bezáró síkfelület, amely egy rugalmas, axiális golyóscsapágyon keresztül deformálja a hullámkereket. A hajtómű hullámkereke egy sík tárcsa, amely homlokfelületének peremén lévő fogazat deformált állapotban kapcsolódik (2. ábra) a merev kerék homlokfogazatával, a két kerék coaxiális helyzetű.

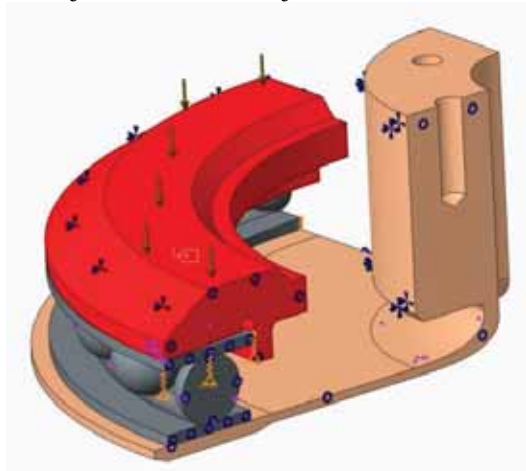


1. ábra: A síkkerekes hullámhajtómű alapelemei: merev kerék (1), hullámkerék (2), rugalmas csapágy (3,) bűtykös hullámgenerátor (4)



2. ábra: Fogkapcsolódás vázlat a fogkapcsolódás síkjára normális (baloldal) és párhuzamos (jobb oldal) nézetben

A hullámkereket itt a hullámgenerátor axiális irányban deformálja, a hagyományos változatnál működő radiális iránnyal szemben. A deformáció vizsgálatára alkalmas a végeleemes analízis, ehhez a PTC Creo CAD rendszer szimulációs modulját használtunk. A hullámkerék különböző mértékben deformálható, azonban jelen konstrukcióban a tervezett axiális irányú elmozdulás 1,2 mm (4. ábra). Ekkora az elméleti érték a tervezett üzemi állapotban is, így mindegyik vizsgálatnál ezzel számoltunk. Az alapelemek végeleemes modelljét a 3. ábra mutatja.



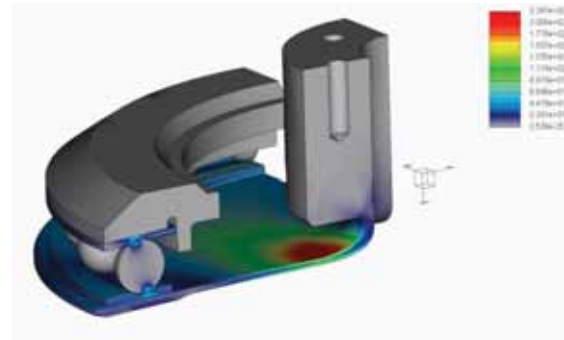
3. ábra: A hullámhajtómű végeleemes modellje

## 2. A SÍKKERES HULLÁMHAJTÓMŰ ALAPELEMEINEK OPTIMÁLÁSA

A hullámgenerátor csapágy terhelésének jelentős részét képezi a deformált alak előállításából ébredő axiális erő. Annak érdekében, hogy a hullámgenerátor csapágy élettartamát megnöveljük, a rá eső axiális erő csökkenthető a rugalmas elemek kisebb deformálásával illetve a rugalmas elemek „lágýtásával”. Az előbbi megoldás korlátozott, mivel a fogkapcsolódáshoz szükséges a megfelelő deformáció kialakítása, míg utóbbi a rugalmas csapágy és a hullámkerék méreteinek módosításával érhető el. A rugalmas csapágy esetén a deformációhoz szükséges erőt leginkább a csapágy futófelületének vastagsága határozza meg. Ennek a méretét a lehető legkisebbre választottuk, úgy hogy még ne befolyásolja hátrányosan a működést és az élettartamot.

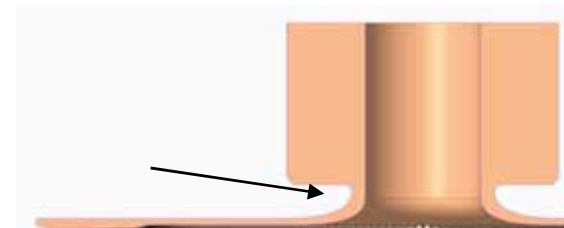
A csapágygyűrűt a mindkét oldaláról lemunkáltuk, így kevésbé mély futófelületet állítottunk elő, ezáltal alatta nem vékonyodik el túlzottan a csapágygyűrű. Továbbá ügyeltünk, hogy a deformált

állapotban a csapágygolyók és a csapágygyűrű közötti terhelésátadás maradjon a futófelületen belül (7. ábra). Túl sekély futófelület esetén deformált állapotban a golyók a futófelület szélén adják át a terhelést, amely élmenti érintkezést eredményez, amit szeretnénk elkerülni.



4. ábra: Feszültség eloszlása a teljes modellben

A hullámkerék esetén a deformációból származó erőt leginkább befolyásoló paraméterek a hullámkerék vastagsága és a fogazat-agy távolság. Az előbbi paraméter csökkentésével az utóbbi növelésével redukálható a deformációval szembeni ellenállás, azonban a méretek módosítását korlátozza, hogy a hullámkerék terheli a hajtásból származó csavaró nyomaték, továbbá a vastagság túlzott csökkentése gyártási nehézségekbe is ütközik.



5. ábra: Hullámkerék deformálódó tárcsa és agy csatlakozása

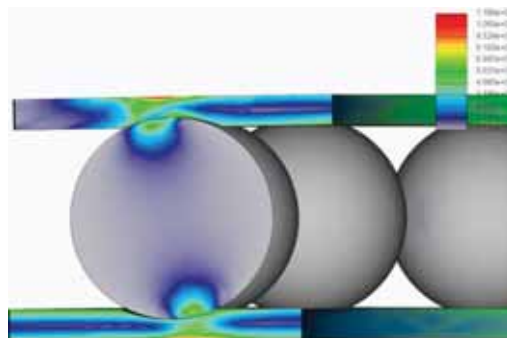
A hullámkerék deformálódó tárcsa része nem közvetlenül csatlakozik az agy részhez, hanem az agy tövében egy íves beszúrás alakítottunk ki, amelyet a fogazat oldali felület is közel párhuzamosan követ (5. ábra).

Az így elvégzett méretbeli és konstrukciós módosításokkal 1,2mm-es deformációhoz szükséges axiális erőt a végeleemes számítások szerint sikerült 260N-ról 51N-ra csökkenteni. A rugalmas elemek méreteinek meghatározása során a hullámgenerátor bütökpprofil szög értékére egy kezdeti értéket

határoztunk meg. Megvizsgáltuk, hogy a bütőkprofil szögének módosítása milyen hatással van a feszültség eloszlásra az előzőleg meghatározott méretek mellett.

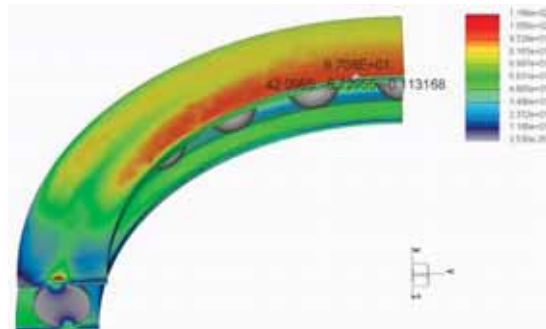


6. ábra: Hullámgenerátor bütők és rugalmas csapágy érintkezése deformálatlan állapotban



7. ábra: A csapágygolyó feszültség eloszlása deformált állapotban

Azt találtuk, hogy a deformált állapotban a rugalmas csapágy és a hullámgenerátor között a felfekvő felület növelésével csökkenthető a csapágyban ébredő feszültség. A deformált rugalmas csapágyban ébredő feszültség legkisebb értékét akkor kaptuk, amikor a hullámcsúcson a hullámgenerátor felületre a rugalmascsapágy teljes szélességében felfekszik.

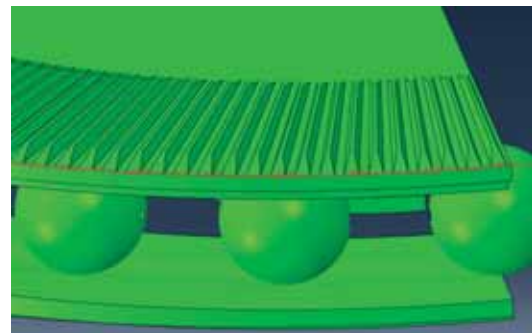


8. ábra: Rugalmas csapágyban ébredő feszültségek

A bütők profilszögének módosításával sikerült rugalmas csapágyban ébredő Von Mises szerinti feszültség maximális értékét 121MPa-ról 99MPa-ra csökkenteni. A deformációból származó axiális erő és a hullámkerékben ébredő feszültség érdemben nem változott.

### 3. FOGAZAT PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSA

Az előző fejezetben bemutatott alapelemek méreteinek meghatározása után megvizsgáltuk a hullámkerék deformált alakját terheletlen állapotban (csavaró nyomaték nem terhelte a hullámkereket), és lekérdeztük, 4.5°-onként az elmozdulás értékeket a fogazat külső és a belső peremén.



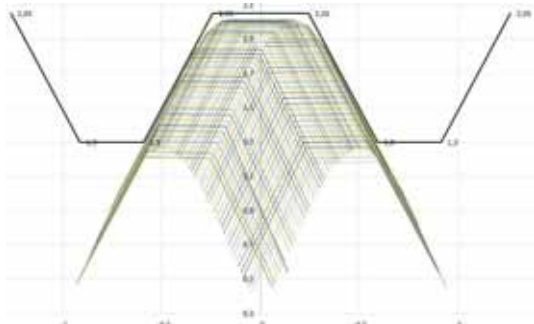
9. ábra: Mintavételezés a külső peremen

Az ív menti elmozdulás értékekből kapott ponthálóra ötöd fokú polinomot illesztettünk, majd ezt a polinomot használtuk a hullámkerék fogazat pályájának meghatározására.

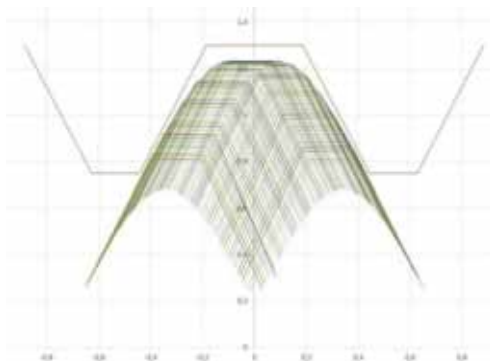
A fogazat számításánál azt feltételeztük, hogy a fogazat egy pontját az előbbieken meghatározott polinom vezérli és erre a polinomra egy fog szimmetriasíkja mindig merőleges. A fogazat meghatározásánál figyelembe vettük a fogazat axiális irányú elmozdulását illetve elfordulását a merev fogazathoz képest.

Jelen hajtómű esetén egyenes fogprofil határoztunk meg. A hullámkerék és a merevkerék fogprofil szöge a külső és a belső perem között nem változik. A fogazat elmozdulása koordináta transzformációval meghatározható a teljes hullámon. A merevkerék fogprofilját 25°-ban határoztuk meg, és ehhez kerestünk egy illeszkedő hullámkerék profilszöget. A fogazat billenése miatt a hullámkeréken a merevkeréknél kisebb fog profilszöget határoztunk meg és törekedtünk arra, hogy a foghézagot terheletlen állapotban is jelentősen lecsökkentsük. A

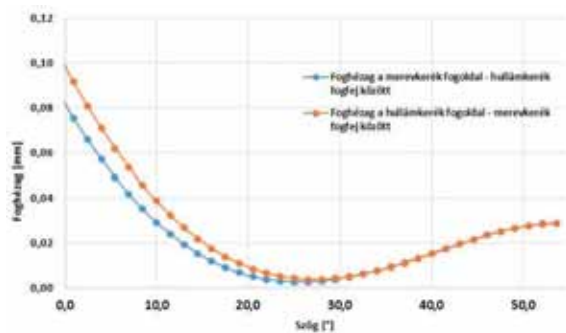
foghézag értékei a kerület mentén, a külső peremen a 12. ábrán láthatóak, illetve a belső peremen a 13. ábrán.



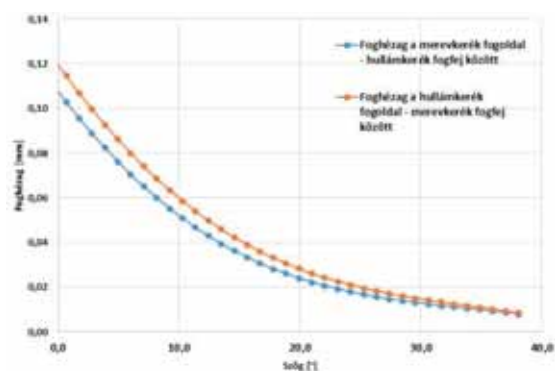
10. ábra: Hullám fogazat mozgása a merev fogazathoz képest a külső peremen



11. ábra: Hullám fogazat mozgása a merev fogazathoz képest a belső peremen



12. ábra: Foghézag értéke a külső peremen



13. ábra: Foghézag értéke a belső peremen

A fogazat értékeit úgy határoztuk meg, hogy a külső peremen kisebb foghézag értékeket kapjunk, így terhelés hatására a külső peremen kezdődik a terhelés, ahol a fogazat nagyobb teherbírású.

A fenti számítások alapján meghatároztott síkkerekes hullámhajtómű prototípus alapelemei a 14. ábrán láthatók.



14. ábra: A legyártott alapelemek

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

Szimulációs módszert dolgoztunk ki a hullám-generátor valamint a hullámkerék alakjának optimalására és a rugalmas csapágyban ébredő feszültségek vizsgálatára. Az adott hullámkerék deformációhoz tartozó - működés szempontjából kedvezőtlen - axiális erő értékét ~80%-kal, míg a csapágyban ébredő kezdeti feszültség értékeket optimalás után 20%-kal sikerült csökkenteni. Az optimált alapelemek deformált alakja jelentette a fogazati paraméterek számításának alapját. A hullámhajtómű prototípusainak gyártása és tesztelése a K.K.K. 99 Kft. celldömölki székhelyén jelenleg is folyamatban van. További célkitűzés a hajtómű teherbírásának, alkalmazható fordulatszám tartományának, pozicionálási pontosságának és egyéb működési paramétereinek feltérképezése.

## 10. IRODALOM

- [1] [www.harmonic-drive.com](http://www.harmonic-drive.com)
- [2] Krisch R.: Síkkerekes hullámhajtóművek fejlesztése, PhD értekezés, BME, 2010.