

# BELSŐ BORDA MÉRÉSE KOORDINÁTA MÉRŐGÉPPEL

## MEASUREMENT OF INTERNAL INVOLUTE SPLINES WITH COORDINATE MEASURING MACHINE

*Dr. Solecki Levente\*, Dr. Réti Tamás\*\**

### ABSTRACT

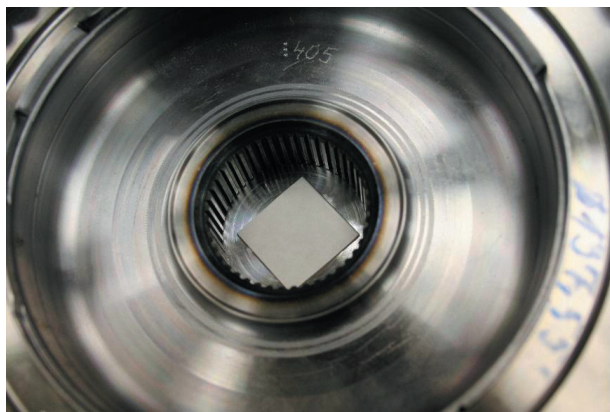
*Involute splines are profiles with complex geometry that is difficult to measure especially at small sizes and internally-splined shafts.*

*Internal surfaces that are difficult to access can be measured using silicon prints. The coordinates of the elastic silicone profile points can be measured with optical measurement methods. When sufficient number of measurements at the appropriate positions are captured, the geometry and the position of the splined shaft can be determined. This article presents the method of measurement and evaluation, and also presents the measurement results of measuring an internally splined shaft of module 1 and tooth number of 44.*

### 1. BEVEZETÉS

Bordák bonyolult geometriájú felületek, melyek különösen kis méreteknél és belső felületeken nehezen mérhetők.

Olyan belső bordázatról kellett minél több információt nyerni, ami sem tapintós, sem optikai méréssel közvetlenül nem volt hozzáférhető. Annyit lehetett megállapítani, hogy a bordák száma 44, hozzávetőlegesen 45 mm-es átmérőn.



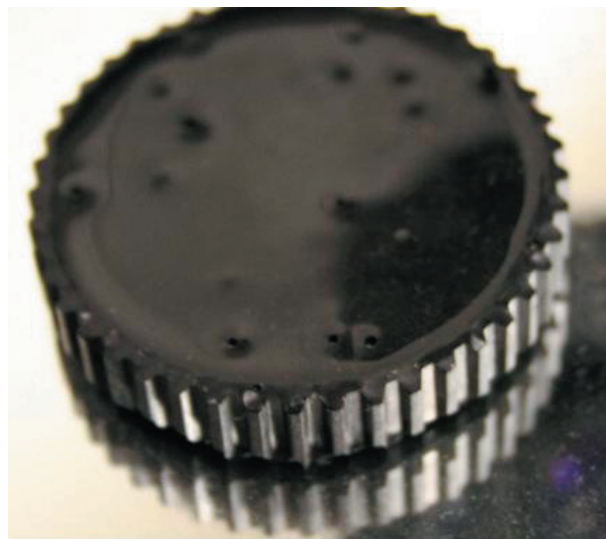
*1. ábra: Belső bordázott furatú munkadarab, a bordafuratot alulról hengeres csap zárja le, aminek homlokfelületén a későbbi szilikonlenyomat négyzet alapú műanyag hátlapja fekszik.*

\* doktorandusz, főiskolai docens, Széchenyi István Egyetem, Anyagismereti és Járműgyártási Tanszék

\*\* témavezető: egyetemi tanár, Széchenyi István Egyetem Anyagismereti és Járműgyártási Tanszék

A bordafelületről szilikon lenyomatot készítettünk, hogy így tegyük mérhetővé. A lenyomatanyag Struers RepliSet F5. A lenyomat készítéséhez a bordázott furatot úgy zártuk alulról le, hogy a borda homlokfelületén záródugóra fektettük fel. Lenyomatvételkor így a borda tengelye függőleges helyzetben volt. (1. ábra)

Az elkészült szilikonlenyomat rugalmasan alak tartó, mérése optikai érzékeléssel lehetséges. (2. ábra)



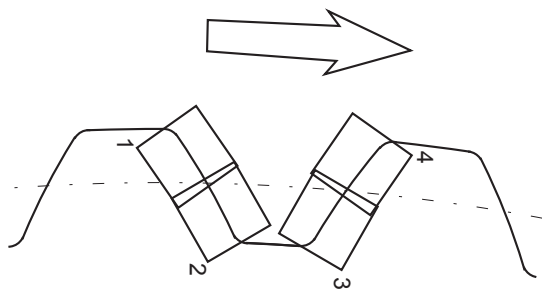
*2. ábra: Belső bordázatról készült szilikonlenyomat a mérőgépen üveglapra fektetve*

### 2. MÉRÉS

A mérésre MAHR PMC800 típusú többféle (optikai, lézeres és érintéses) érzékelést lehetővé tevő koordináta mérőgépet használtunk.

A borda tengelyének hozzávetőleges meghatározásához a fejkörön felvettünk  $\sim 45^\circ$ -onként 8 pontot és meghatároztuk az ezt a 8 pontot legjobban közelítő kör középpontját.

Ahhoz, hogy a bordázott profilt a mérőgép valamilyen sűrűségű osztásban végigkövesse azt a megoldást választottuk, hogy kiválasztottunk egy kezdő bordát és egy körbejárási irányt. Mivel a mérőgép adott optikai nagyítással mellett egy bordaoldal csak két felvételbe fért bele, ezért kimértük az első borda két oldalának azt a négy célszerűen kiválasztott pontját, amivel mindkét bordaoldal teljesen felvehető volt. (3. ábra)



3. ábra: Borda két oldalán felvett 4 ponthoz tartozó látómező elhelyezkedése, a nyíl a körbejárási irányt mutatja

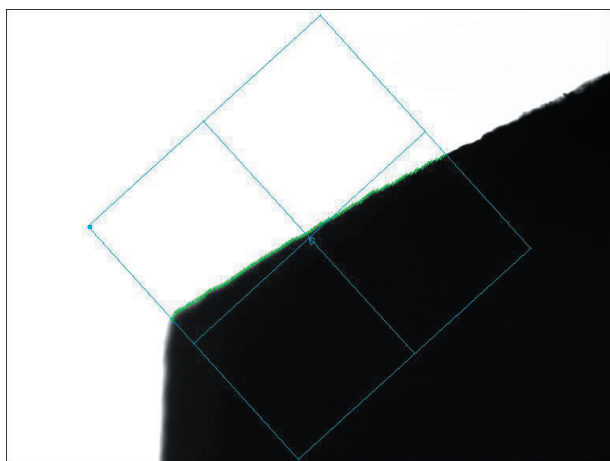
A borda fej- és árokkörén nem vettünk fel pontokat. A mérőprogram 44 ciklusban a közelítő középpont körül bordánként 360/44 fokkal elforgatva sorra ezt a négy pontot járta végig.

Az egyes pontokban az optikai érzékelésre többféle lehetőség állt rendelkezésre:

Manuális pontfelvétel, szubjektív érzékeléssel

Minden látómezőben lehetőség lenne adott számú (5-10-20) kontúrpontra kézi felvételére. A mérőgép száleresztjét a kamera 200-szoros nagyítású képén egy kiválasztott kontúrpontra lehet mozgatni, a pontfelvételt az egérgombbal kattintva lehet végrehajtani. Ennek a módszernek az előnye, hogy szükség szerint bármikor élesre lehet állítani a képet és a képen azonosítható, nem a profilhoz tartozó alakokat – pl. szennyeződés – ki lehet kerülni. Hátránya, a szubjektivitás és a viszonylag nagy munkaráfordítás.

Az automatikus pontfelvételnél a kiértékelő rendszer a kamera képén definiált mérőablak területét valamilyen meghatározott irányban végigtapogatja és legfeljebb pixeles felbontásban sötét/világos átmenetet keres. A letapogatás irányát úgy állítottuk be, hogy minden felvételnél közel a profilra merőleges legyen a letapogatás. A pontfelvétel sűrűségét 20 pixelre állítottuk, ezzel a felvett pontok távolsága valamivel kisebb, mint 0,01 mm lett. (4. ábra)



4. ábra: A bordafejnél készített egyik felvétel, benne a négyzet alakú mérőablak és zölddel jelezve az érzékelt kontúrpontra.

Az automatikus mérésnél még meg kellett oldani a kép élesre állítását. Mivel az automatikus élesre állítás viszonylag hosszú időt vesz igénybe, ezért nem minden felvételnél, hanem csak minden bordánál, az egyik bordaoldal közepén állít a mérőgép élesre, majd ennek a bordának a 4 felvételét ezzel a beállítással készíti el. A felvételek megvilágítása állandó.

Az elkészült mérőprogrammal ugyanilyen bordafelületet úgy lehet újramérni, hogy csak a közelítő középpontot és a kezdőborda 4 felvételi pontját és az élesreállítási pontot kell újra meghatározni és a programba bevinni, tetszőleges más bordáknál ezeken felül újra kell az első borda mérési pontjainak számát és elhelyezkedését is meghatározni és esetleg a megvilágítási értékek is változhatnak.

A kontúrponatok koordinátáit a mérőgép egy szövegfájlba menti, az x, y, z koordináták három oszlopba egymás alá kerülnek, az egyes felvételeket egysoros állandó szöveg választja el egymástól. A mérőgép kiértékelési lehetőségei legfeljebb a külső és a belső közelítő körök és a bordaoldalak közelítő egyenesének meghatározását teszik lehetővé.

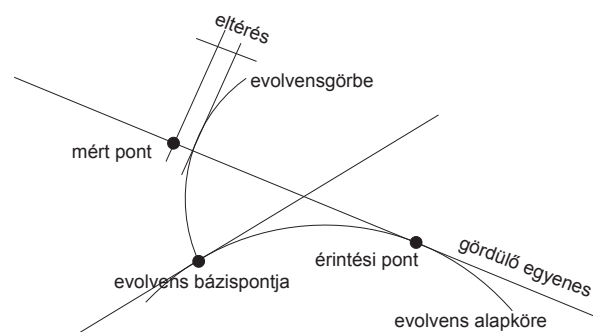
A mért pontok feldolgozását személyi számítógépen a széles körben ismert és rendelkezésre álló EXCEL programmal végeztük el.

A mérőgépen exportált szövegfájl az EXCEL képes megnyitni és a koordinátaértékeket számonként értelmezni.

### 3. KIÉRTÉKELÉS

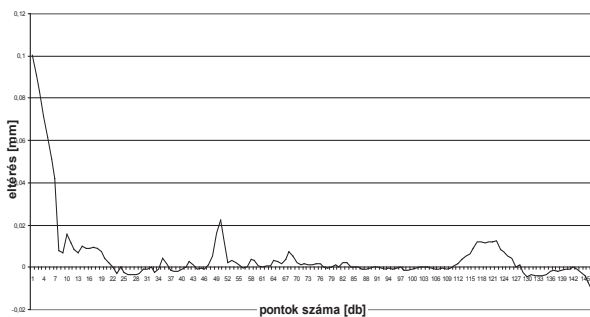
A bordák kiértékelése bordaoldalanként történik. Ehhez ki kell választani az adott bordaoldal két felvételét. A felvételek úgy készültek, hogy mindig 10-20 pontnyi átfedés van közepén köztük, az egyik felvétel ezekkel a pontokkal végződik a következő pedig ezekkel kezdődik. Egy bordaoldalt a két hozzátartozó felvétel pontjaiból úgy állítottuk össze, hogy a közepén ismétlődő pontokat az első felvételtől kitöröltük és úgy értelmeztük, hogy ezeket a pontokat a második felvétel határozza meg.

A bordaoldalon felvett pontokhoz meghatároztuk az eltéréseit legjobban közelítő evolvens profilhoz képest. Evolvensprofil írt le egy alapkörön csúszásmentesen legördülő egyenes állandó pontja. (5. ábra)



5. ábra: Evolvens származtatása az alapkörön csúszásmentesen legördülő egyenessel

Az evolvenstől a mért pont eltérését úgy értelmezzük, hogy az alapkörön az evolvens bázispontjának és az aktuális érintési pontnak az ívhossza egyenlő a gördülő egyenesen az érintési pontnak és az evolvensgörbe aktuális pontjának a távolságával. Tehát meg kell határozni az aktuális mérési pontból az alapkörhöz húzható érintő érintési pontját. Az adott pont eltérése az evolvenstől, hogy a mérési pont és az érintési pont távolsága mennyit tér el az evolvens bázispontjának és az aktuális érintési pontnak az alaphosszon mérhető ívhosszától. Ez matematikailag problémamentesen megoldható, a következő paramétereket kell egy bordaoldalnál megadni, ha azt feltételezzük, hogy az alapkör helyzete adott: alapkörátmérő és az evolvens szöghelyzete az alapkör pozíciójához képest. (Hol helyezkedik el, milyen szögben áll az alapkör középpontjához viszonyítva az evolvens bázispontja, ahol az evolvens az alapkörét metszi?) Ez a szöghelyzet a következő bordaoldalnál elvileg egy szögosztással lesz több, vagy kevesebb. A legjobban közelítő evolvens alapkörátmérőjét úgy állítjuk be, hogy a profilpontok eltéréseinek az evolvenshez képest (elsősorban a középső sávban) ne legyen csökkenő vagy növekvő trendje, tehát az eltérés stabil legyen. (6. ábra)

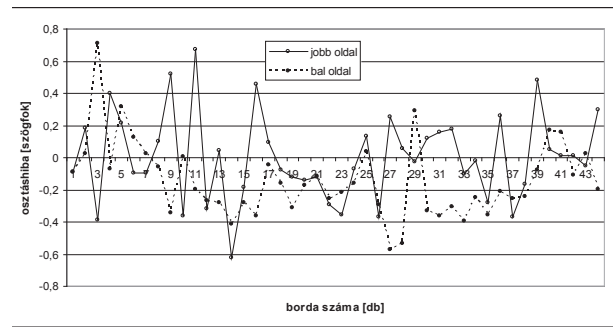


6. ábra: Egy bordaoldalnak a közelítő evolvenstől mérhető eltérései 150 pontban

A pontok sorszámozása a bordafejen kezdődik (1) és a bordaárokban végződik (150). Az alapkör átmérőjének meghatározására így kidolgozott matematikai módszer a mechanikus, változtatható alapkörű evolvensvizsgáló berendezések működését modellezi számítással. Az evolvens szöghelyzetét pedig a közepes eltérés nullára állításával lehet meghatározni.

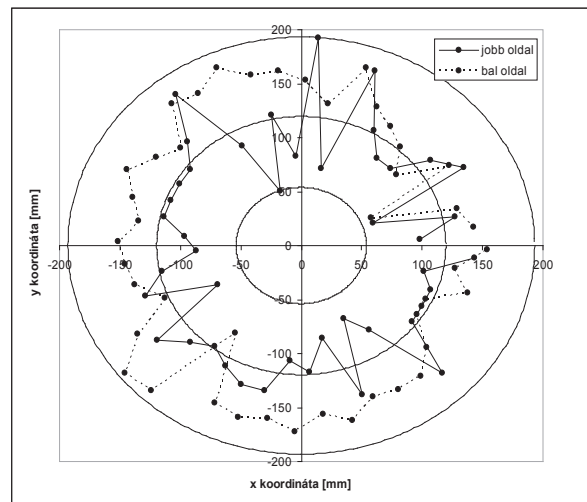
Ez a kiértékelés munkaigényes, mert minden bordának mindkét oldalát külön, egyenként kell ily módon kiértékelni. A kiértékelés eredményeként megkapjuk mind-egyik bordaoldalnak a közelítő evolvens alapkör sugarát és a bázispont szöghelyzetét.

A bázispontok szöghelyzetértékeiből meghatározható a bordaoldalak osztáshibája. Az egyes bordaoldalak osztáshibáját úgy kapjuk meg, hogy az első bordához képesti osztáshibáknak meghatározzuk a középértékét, majd ezt az átlagos eltérést mindegyik – az első bordához képesti – eltérésből kivonjuk. Ezzel érjük el, hogy ezeknek az osztáshibáknak az átlaga nulla legyen. (7. ábra)



7. ábra: A bordaoldalak osztáshibái

A bordaoldalakat közelítő evolvens alapköreinek átmérőit felezve a feltételezett középponttól mérhető alapkör sugarakat kapjuk. Ezek együtt az evolvens bázispontjainak szöghelyzeteivel a feltételezett középponttól az alapkör 2x44 pontjának a polárkoordinátáit adják. Ezek a polárkoordináták átszámíthatók derékszögű koordinátákba és így meghatározható az alapkör 88 pontját legjobban közelítő alapkör középpontjának helyzete, átmérője és köralakhibája. (8. ábra)

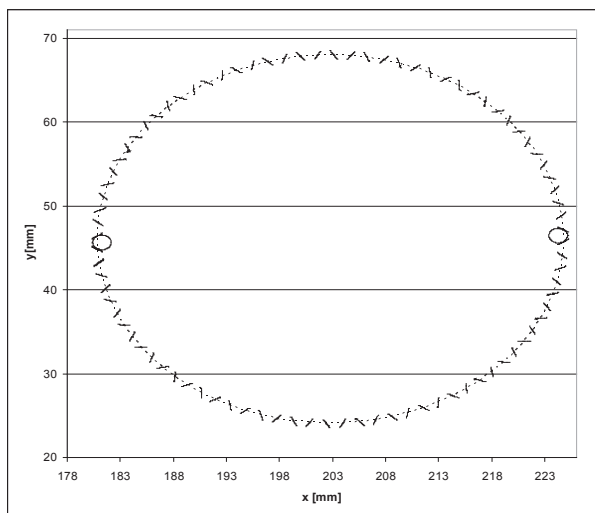


8. ábra: A bordák alapköreinek alakhibája  
A középső kör a legjobban közelítő alapkör és hozzá képes radiális irányban 200x-os nagyításban a jobb bordaoldalról (folytonos vonallal összekötve) és a bal bordaoldalról (szaggatott vonallal összekötve) meghatározható alapkörpontok.

A 88 alapkörpont a legjobban közelítő kör  $\pm 0,35$  mm-es sávjában helyezkedik el. Mivel a  $\sim 38$  mm átmérőjű alapkörre a  $\sim 1$  mm hosszú bordaívvekből következtetünk, ezért az egyes pontok mérési bizonytalansága az alapkörre is viszonylag nagy bizonytalanságot eredményez. A jobb, és a bal bordaoldalakra külön-külön alapköröket is számítani lehet, ha ez indokolt.

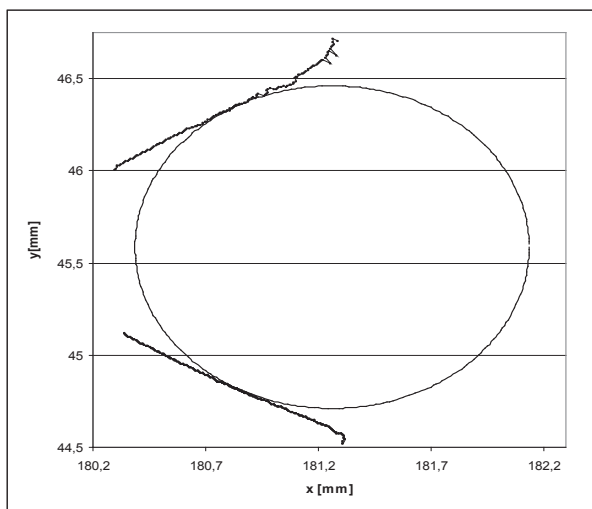
A koordinátaméréssel nyert információk lehetővé teszik a DIN 5480-15:2006-03 szabvány szerinti csapmért meghatározását is. A méréshez javasolt 1,75 mm átmérőjű csapnak megfelelő kört matematikai úton lehet a

szemközti bordáárkokba – de mivel itt lenyomatról van szó – ezért éppen bordára illeszteni.



9. ábra: A bordán mért pontok, az evolvens  $\varnothing 44$  mm-es gördülőköre, bal oldali  $\varnothing 1,75$  mm-es kör az első, a jobb oldali az átellenes bordára illesztve

A beillesztett körök középpontjaiból a csapok közti méret adódik. A 9. ábra egy ilyen helyzetben mutatja az átellenes oldalakon levő mérőcsapokat, a 10. ábra nagyítva mutatja a bal oldali csap illesztését.



10. ábra: A bal oldali  $\varnothing 1,75$  mm-es kör illesztése az első bordára (nagyítva)

Ez a csapméret 41,271 mm-re adódott. Ezzel a módszerrel – bár munkaigényes – de a bordázat mind a 44 csapmérete számítható.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott mérési módszerrel meg lehetett határozni a belső bordafelület összes fontos jellemzőjét: modul, profil, profilhiba, osztáshiba, alapkör (átmérő és helyzet), csapméret. mind a mérés, mind a kiértékelés idő- és munkaigényes, de egyedi mérés esetén nincs más mérési lehetőség.

## IRODALOM

- [1.] GOCH, G.: 2002, Optische Messung von Zahnradern, VDI-Berichte 1673. p. 171-194.
- [2.] GOCH, G., GÜNTHER, A.: 2002, Future Gear metrology, Superficial Description and Inspection of Flanks, in: International Conference on Gears Vol. 2. VDI-Berichte 1661, p. 751-768.
- [3.] YILMAZ CAN, CENK MISIRLI: Analysis of spur gear forms with tapered tooth profile; Materials and Design 29 (2008) p. 829-838
- [4.] DIN 5480-2: Passverzahnungen mit Evolventenflanken und Bezugsdurchmesser – Teil 2: Nennmaße und Prüfmaße
- [5.] DIN 5480-15:2006-03: Passverzahnungen mit Evolventenflanken und Bezugsdurchmesser – Teil 15: Qualitätsprüfung