

## A ZÖLDENERGIÁK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK TECHNIKAI ASPEKTUSAI

### SOME TECHNICAL ASPECTS REGARDING THE GREEN ENERGIE PRODUCING

Gyenge Csaba

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Gépgyártás-technológiai Tanszék, 400641 Cluj-Napoca, B-dul Muncii nr.103-105, tel/fax: +40-264-415001, Csa-ba.Gyenge@tcm.utcluj.ro.

#### Abstract

In the first part of paper, I present the constructive particularities of special gear boxes used at vertical tower wind turbines and the quality requirements. In the following part I present the new CNC gear grinding methodology and technology, developed by our team, with which it was possible to realize the high quality of geometrical parameters and quality roughness. In the last part of paper I will present some the practical industrial results and used control technology.

**Keywords:** green energy, wind turbines, gearing.

#### Összefoglalás

A dolgozat első részében ismertetem a függőleges tornyú szélturbinák szerkezetében alkalmazott fogaskerék hajtóművek konstruktív jellegzetességeit és a minőségi igényeket. A második részben röviden bemutatom az általunk kifejlesztett CNC köszörülési technológiát, amellyel el lehet érni a különleges fogazatok pontossági és felületminőségi követelményeit. A dolgozat végén ismertetem az ipari megvalósításainkat és a jellegzetes mérési eredményeket.

**Kulcsszavak:** zöldenergia, szélturbina, hajtómű

#### 1. Bevezető

Ismeretes, hogy a megújulóenergia-források szerepe folytonosan nő, és a Greenpeace becslései szerint 2050-ben Románia az összenergia-szükségletének 85%-át megújuló forrásokból kell fedezze. A Román Statisztikai Intézet adatai szerint [7], 2011-ben az össz 63252 GkW kitermelt energiából 40%-ot a gázalapú hőerőművek termelték, 22%-ot a vízerőművek, 16%-ot az atomerőmű és csak 4%-ot a szélerőművek. Az optimista előrejelzések szerint, 2013 végéig a szélerőművekben termelt energia meg kell duplázodjon, és

így Románia világviszonylatban a 13-ik helyet foglalhatja majd el a szélerőenergia felhasználása terén (a legújabb értesülések szerint már 7% felett van).

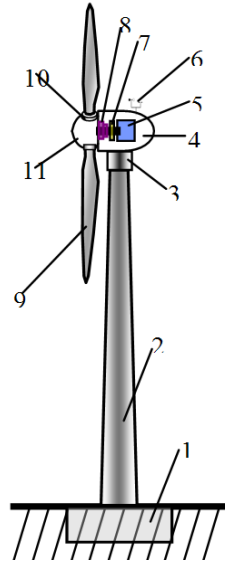
Természetes, hogy a szélerőművek felépítése elég komplex, és az előállítási, valamint felszerelési árak elég magas, így – egyelőre – a szélerőművekben előállított energia ára jóval magasabb, mint a hő-, vagy vízerőművekben előállítotté. Viszont a gáz-, valamint szénhidrátkészletek elég gyors csökkenése arra figyelmeztet, hogy minél intenzívebben foglalkozzunk az újrahasznosítható üzemanyagokkal működő energiatermelőkkel.

Kutatócsoportunk több mint 4 éve foglalkozik a szélturbinákban alkalmazott hajtóművek gyártástechnológiájának fejlesztésével annak érdekében, hogy minél kisebb költségekkel minél jobb minőséget és élettartamot lehessen elérni a szükséges fogaskerék-hajtóművek számára.

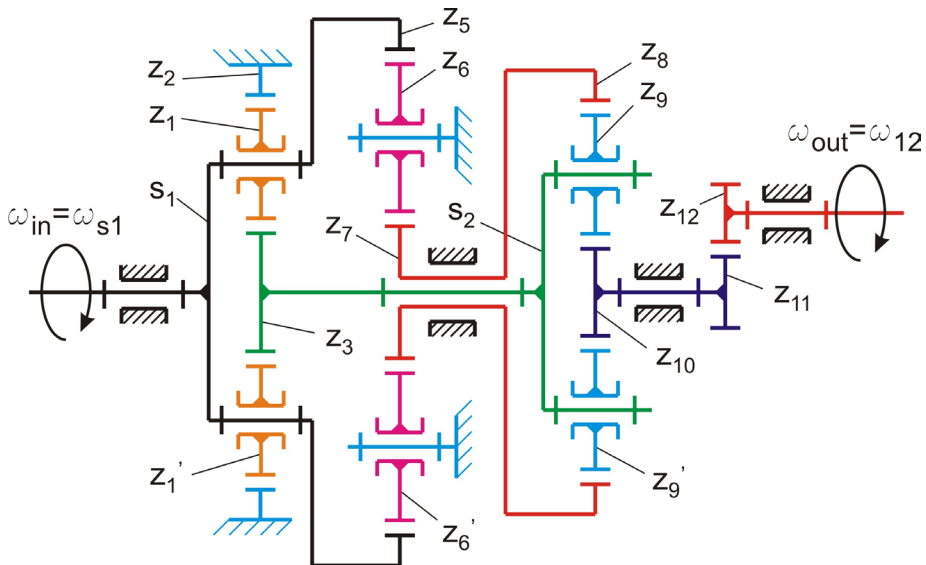
A dolgozat keretében igyekszem ismertetni ez irányú jellegzetes elméleti és gyakorlati kutatásaink eredményeit.

## 2. A szélturbinákban alkalmazott hajtóművek konstruktív és működési jellegzetességei

Ismereteink szerint [8] a napjainkban alkalmazott szélérőművek nagy része vízszintes tengelyű lapáttal dolgozik (1. ábra).



1. ábra. Vízszintes tengelyű szélturbina felépítése: 1 – fundamentum, 2 – torony, 3 – szélirányra állító berendezés, 4 – gondola, 5 – generátor, 6 – szélmérő, 7 – fék, 8 – hajtómű, 9 – rotorlapát, 10 – lapát irányító, 11 – forgószárnyagy.



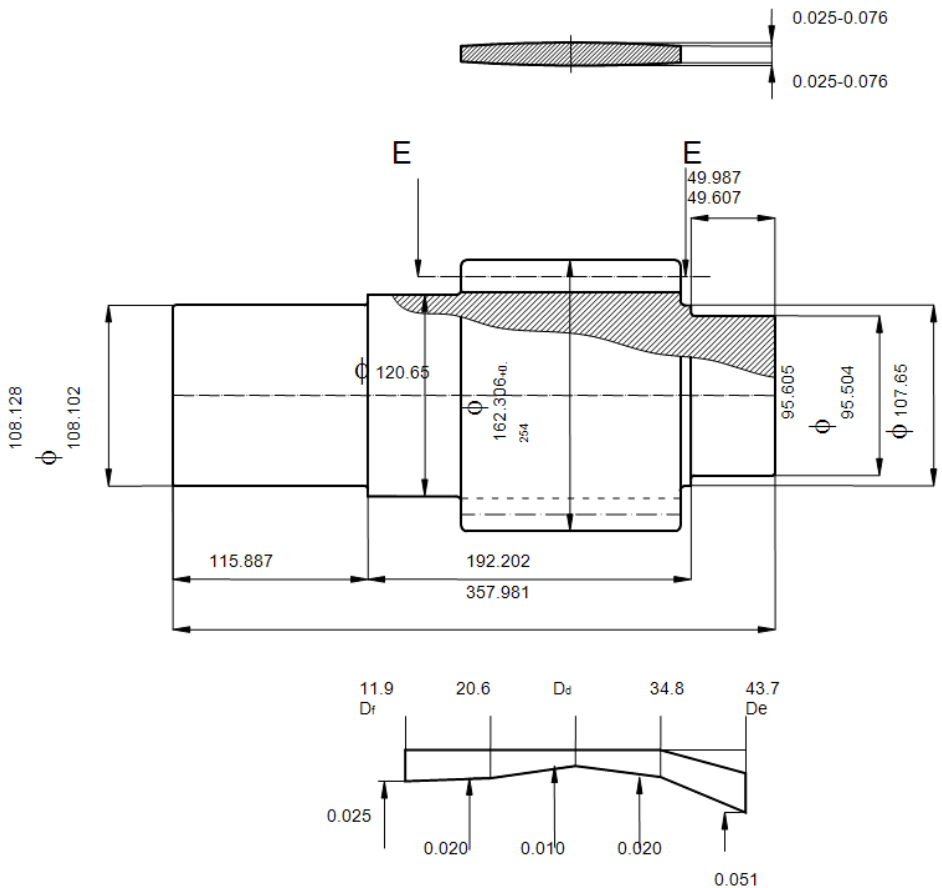
2. ábra. A kétlépcsős bolygó rendszerű multiplikátor kinematikai vázlatja

Amint az ábrán láthatjuk, a primer tengely (amin a paletták vannak) kis fordulatszámú forgása bemegy a multiplikátorba, ahonnan egy tengelykapcsoló révén (amelyik szükség esetén fékként is működik) meghajtja az áramgenerátor tengelyét.

Rendszerint a fordulatszám-növelő (multiplikátor) bolygó felépítésű (2. ábra), és aránylag kis méretek mellett nagy áttételi arányokat kell biztosítson.

Amint az ábrán láthatjuk, a légszavarak primer tengelye végén az  $S_1$  kapcsoló fedél van rögzítve, amelyben a három  $Z_1$  bolygókerék van beágyazva. A fedél jobb

oldalán a  $Z_5$  belső fogazatú kerék van felfogva. Az említett bolygókerékek úgy a  $Z_2$  belső fogazatú keréken gördülnek, mint a  $Z_3$  keréken. Ezzel egyidőben, a belső fogazatú  $Z_5$  kerék forgatja a  $Z_6$  bolygókerékeket, és ezek meghajtják a  $Z_7$  kereket, amelyek össze van kötve a  $Z_8$  koszorúkerékkel, amelynek fogfelületein gördülnek a  $Z_9$  bolygókerékek. Ezek a bolygókerékek hajtják meg a  $Z_{10}$  fogaskereket. Ennek tengelyén fekszik a  $Z_{11}$  kerék, amely a  $Z_{12}$  kerék révén meghajtja a kimenő tengelyt. A fentiek szerint a hajtómű nagy átviteli arányt tud biztosítani ( például 50:1-hez).



3. ábra. A gyakorlati kísérletek keretében gyártott bolygókerék rajza

Mivel ezek a hajtóművek nagy magasságban kell működjenek és turbinák sokszor igen változatos terepre vannak beépítve, mind szerelésük, mind karbantartásuk elég nehéz. Ezért a technikai feltételek minimum 10 éves élettartamot igényelnek.

Ugyanakkor a nagy magasságban való működésük minél kisebb rezgésekkel kell járjon, ellenkező esetben károsan befolyásolják a terep állatvilágát.

Az említett igényeket csak igen komplex és nagy pontosságú fogaskerék-hajtóművekkel lehet kielégíteni.

Kutatásaink keretében az  $m = 8...14$  mm-rű bolygókerékek technológiájával foglalkoztunk. A **3. ábrán** a kerék konstrukciós rajza látható, valamint az **1 táblázatban** a technikai adatai.

Amint a **3. ábra** alsó részén láthatjuk, a fogprofil eltér a hagyományos evolvens fogazatok alakjától, és annak érdekében, hogy ezt a komplex alakú fogazatot megfelelő pontossággal és felületi érdességgel lehessen megmunkálni, a CNC vezérléshez folyamodtunk.

**1. táblázat** A 3. ábrán feltüntetett bolygókerék adatai

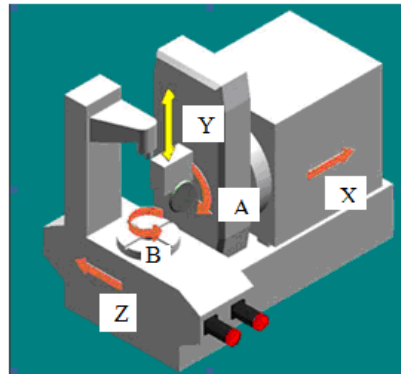
Fogszám	17	Pitch diameter	142.24
Diametral pitch	3.0357	Alapkör-átmérő	128.913
Modul	8.367	Fejkör-átmérője	162.306
Kapcsoló szög	25°	Fogmagasság	10.033

### 3. A kifejlesztett fogazat simítási technológia

A szélturbinák hajtóműveiben alkalmazott komplex profilkorrekciós fogaskerékek simító megmunkálása érdekében a nagyváradi TECHTRANS, valamint a szatmárnémeti UNIO gyárakkal közösen, egy hagyományos NILES típusú fogaskerék-köszörűgépet felújítottunk, japán FANUC vezérléssel (**4. ábra**).



**4. ábra.** A FANUC vezérléssel felújított fog-köszörűgép munkatere



**5. ábra.** A CNC fogkőszörűgép felépítése és koordináta-rendszere

A köszörülendő fogaskerék legördülési mozgását a köszörűkorong által megvalósított burkoló fogaslécen, a Z tengelyirányú elmozdulás, valamint a B tengely körüli forgással valósítottuk meg (**5. ábra**). Az X tengelyirányú mozgás szintén CNC vezérelt, és vele biztosítható a szükséges tengelytávolság. Az Y tengelyirányú mozgással a hosszirányú profilmódosításokat lehet programozni, míg

az X tengely körüli forgással a szerszám dőlési szögét.

Általában egy profilkorrekció nélküli fogárok megköszörüléséhez a **2. táblázat**ban feltüntetett műveletelemek szükségesek.

**2. táblázat.** Egy fogárok köszörüléséhez szükséges alapművelet-elemek

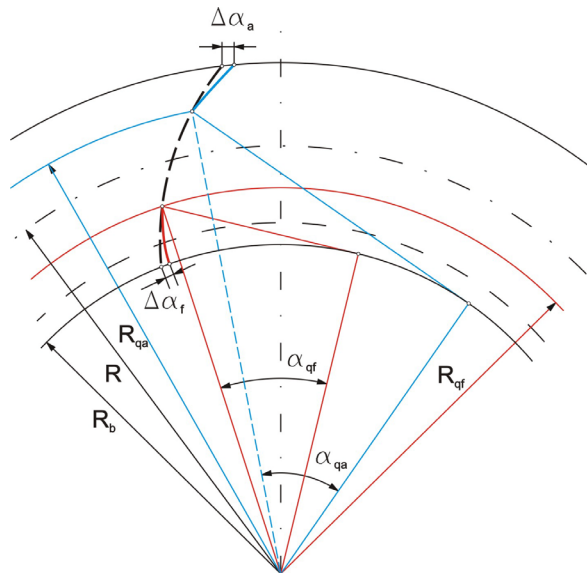
A műveletlem száma	Műveletlem elnevezése
f0	A szerszám megfelelő beállítása az előmunkált fogárokba
f1	Beforgatás a bal fogoldal kezdőpontjába
f2	A szerszám és az előnagyolt bal fogoldal közötti játék megszüntetése
f3	<b>A bal fogoldal köszörülése</b>
f4	Átgördítés a jobb fogoldalra
f5	A szerszám és az előnagyolt jobb fogoldal közötti játék megszüntetése
f6	<b>A jobb fogoldal köszörülése</b>
f7	Egy foggal való osztás

A profilkorrekciós fogprofilok legördüléséhez az f3 és f4 műveletelemeket fel kellett bontani három illetve négy szakaszra.

Ezek szerint egy profilkorrekciós fogárok köszörüléséhez minimum 14 műveletlem paramétereit kellett meghatározni. Erre a célra több matematikai algoritmust fejlesztettünk ki.

#### 4. A CNC vezérlés programozásához szükséges paraméterek meghatározásához kifejlesztett algoritmusok

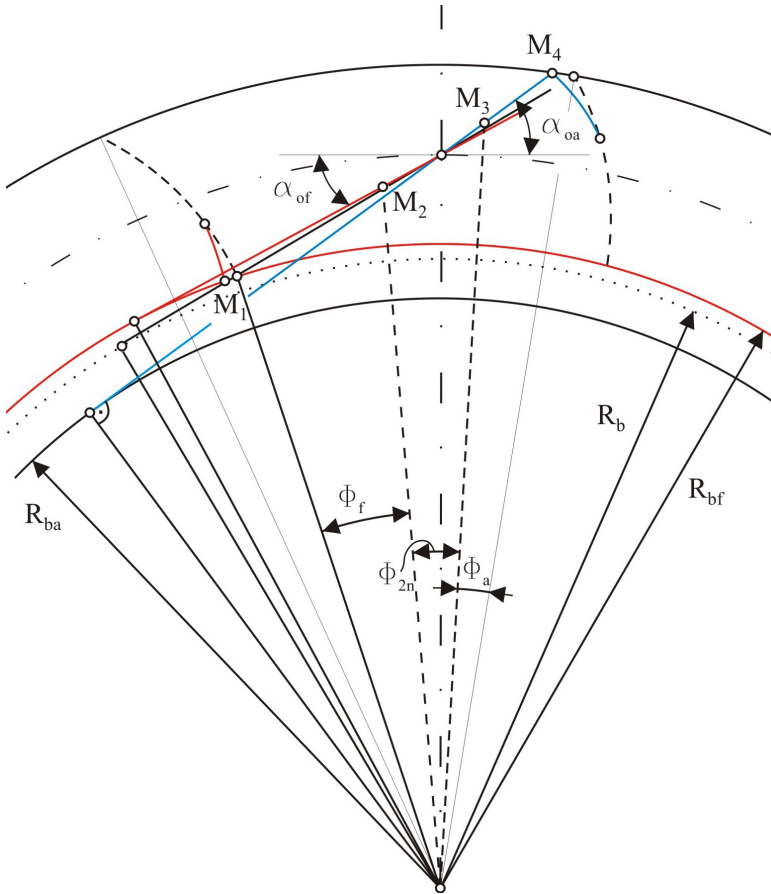
A CNC vezérlést igen precízen kellett beprogramozni, valamennyi műveletlem számára, főleg a profilkorrekciós fogazatok esetében. Ennek érdekében egy saját elképzelés szerint a fogprofil három jellegzetes részét, három különböző evolvens szakasszal valósítottam meg (**6. ábra**).



**6. ábra.** A három evolvens szakaszból kialakított fogprofil

A három evolvens szakasz burkolása három kapcsoló egyenesen történik, amelyek

az  $R_{bf}$ ,  $R_b$  és  $R_{ba}$  alapkörökhöz tartoznak (7. ábra).

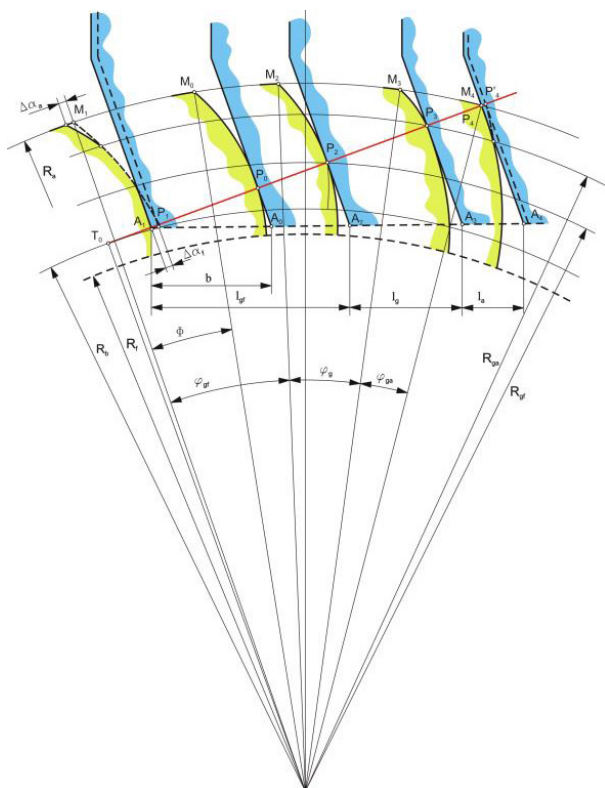


7. ábra. A profilkorrektíós fogprofil kapcsoló egyenesei

Az algoritmusok felépítése céljából pontosan meg kellett határozni a technológiai kapcsoló pár jellegzetes relatív helyzeteit (8. ábra).

Az ábrán látható tangenciális, valamint forgásirányú paraméterek meghatározása

céljából több algoritmust fejlesztettünk ki a különböző szabványok szerint tervezett fogaskerek számára (DIN, STAS, AGMA, Stb.) (3. táblázat).



8. ábra. A technológiai kapcsoló pár jellegzetes helyzetei, CNC fogköszörülésnél

3. táblázat. Kifejlesztett algoritmusok hengeres fogaskerekek CNC köszörülésére

Szám	Algoritmus kódja	Elnevezése	Alkalmazási terület
1	Ag. 1.1.	Általános algoritmus profileltolások dőlt fogú fogaskerekek számára	$R_f \leq R_b \cos \alpha_t$ $\alpha_t \neq \alpha_s$
2	Ag. 1.m	Módosított algoritmus profileltolások és profilkorrekciós dőlt fogú fogaskerekek számára	$R_f \leq R_b \cos \alpha_t$ $\alpha_t \neq \alpha_s$
3	Ag. 1.m.x	Módosított algoritmus profileltolások és profilkorrekciós AGMA fogaskerekek számára	$R_f \leq R_b \cos \alpha_t$ $\alpha_t \neq \alpha_s$
4	Bg. 1.1	Általános algoritmus profilkorrekció nélküli egyenes fogú fogaskerekek számára	$R_f \geq R_b \cos \alpha_t$ $\alpha_t \neq \alpha_s$

5	<b>Bg. 1.m</b>	Módosított algoritmus profileltolások és profilkorrekciós egyenes fogú fogaskerek számára	$R_f \geq R_b \cos \alpha_t$ $\alpha_t \neq \alpha_s$
6	<b>Bg.1.m.x</b>	Módosított algoritmus profileltolások és profilkorrekciós AGMA ferde fogú fogaskerek számára	$R_f \geq R_b \cos \alpha_t$ $\alpha_t \neq \alpha_s$

A 4. táblázatban egyenes fogazatú, AGMA normák szerint tervezett profilkorrekciós fogaskerek CNC köszörüléséhez

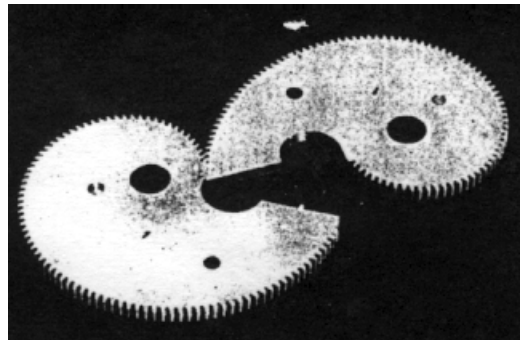
szükséges paraméterek matematikai meghatározása látható.

4. táblázat. Bg.1m. Algoritmus a módosított algoritmus profileltolások és profilkorrekciós egyenes fogú, AGMA normák szerint tervezett fogaskerek CNC köszörüléséhez

Fogszakasz	Z irányú tangenciális mozgás	B irányú körmozgás
Láb	$l_{gf} = - \left[ \frac{1}{\cos \alpha_s} \left( \sqrt{R_{gf}^2 - R_b^2} + \Delta \alpha_f \right) \right]$	$\varphi_{gf} = \arctg \left[ \frac{\sqrt{R_{gf}^2 - R_b^2}}{R_b} - \frac{\Delta \alpha_f}{R_f} \right]$
Közép	$l_g = - \frac{1}{\cos \alpha_s} \left[ \sqrt{R_{qa}^2 - R_b^2} - \sqrt{R_{gf}^2 - R_b^2} \right]$	$\varphi_g = \arctg \frac{\sqrt{R_{qa}^2 - R_b^2} - \sqrt{R_{gf}^2 - R_b^2}}{R_b}$
Fej	$l_{ga} = - \left[ \frac{\sqrt{R_a^2 - R_b^2} - \sqrt{R_g^2 - R_b^2}}{\cos \alpha_s} - \Delta \alpha_a \right]$	$\varphi_{ga} = \arctg \left[ \frac{\sqrt{R_a^2 - R_b^2} - \sqrt{R_{qa}^2 - R_b^2}}{R_b} - \frac{\Delta \alpha_a}{R_b} \right] + \Delta \alpha_f$

Természetesen a megvalósított CNC géppel bármilyen profileltolások fogazat is köszörülhető.

Ugyanakkor megfelelő programozással körhagyó fogazatok (9. ábra) is köszörülhetők, anélkül hogy bármilyen sablonra vagy más vezérlésre szükség lenne.



9. ábra. Körhagyó fogaskerék



A fentiekből megállapíthatók a kifejlesztett fogköszörűgép és technológia legfontosabb jellemzői:

- nincs szükség a hagyományos beállítás-hoz szükséges váltókerekekre, és ezáltal a beállítás nagyon egyszerű;
- a beállítás a géphez csatolt számítógéppel történik;
- a gép rugalmas, többcélú felhasználást biztosít;
- bármilyen profilkorrekció és profileltolás megvalósítható;
- nem szükséges a szerszám és a megmunkálendő fogazat profilszögeinek egyenlőnek lennie;
- megfelelő továbbfejlesztéssel hordóalakú, valamint hengeres-kúpos (Maag Taschenbuch 1985) fogaskerekek is készíthetők.

## 5. Ipari kutatások

A kifejlesztett technológiát a szatmárnémeti UNIO gyárban vezették be, és mai napig is sikeresen alkalmazzák.

Az előzetes gyakorlati kísérleteket az **5. táblázat**ban ismertetett adatú fogaskerekekre végeztük.

A teszt fogaskerekeket egy CNC fogaskerékmérő központon ellenőriztük (**10. ábra**).

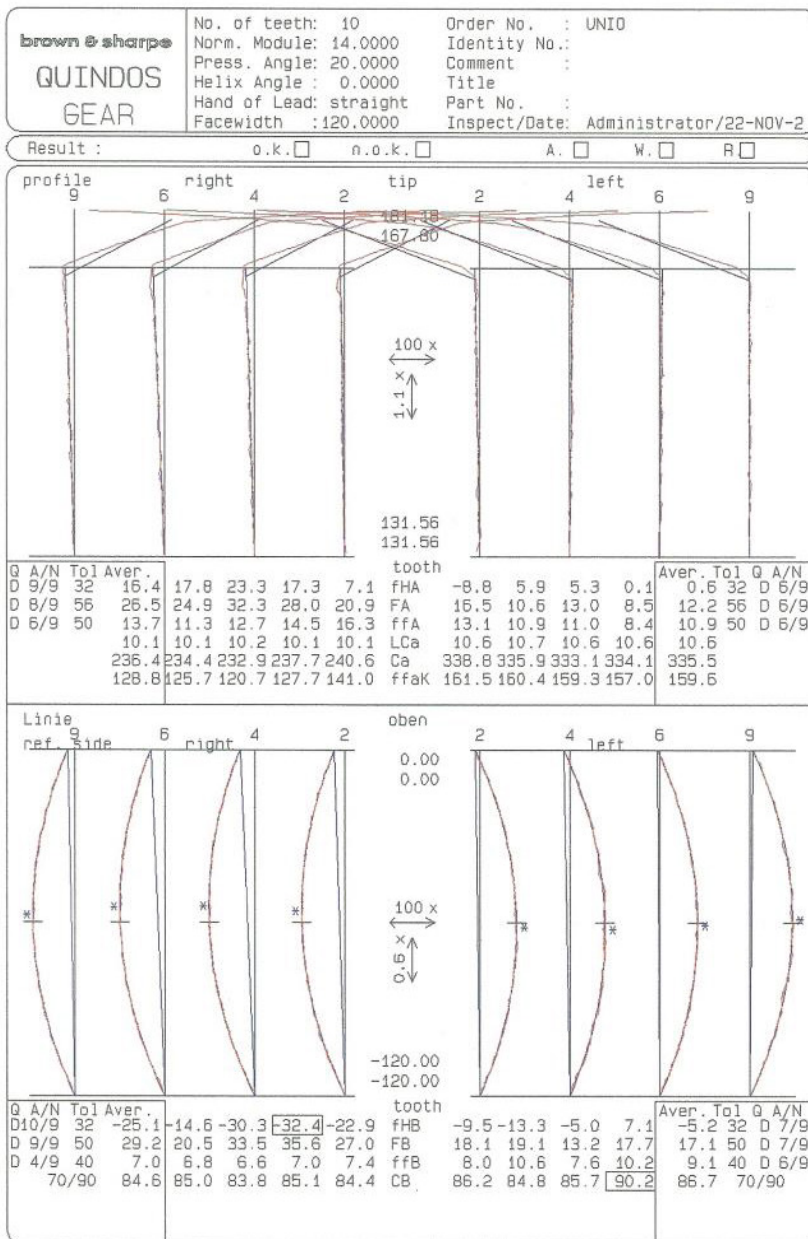


**10. ábra.** Az UNIO gyár tulajdonában lévő CNC fogaskerék-ellenőrző központ

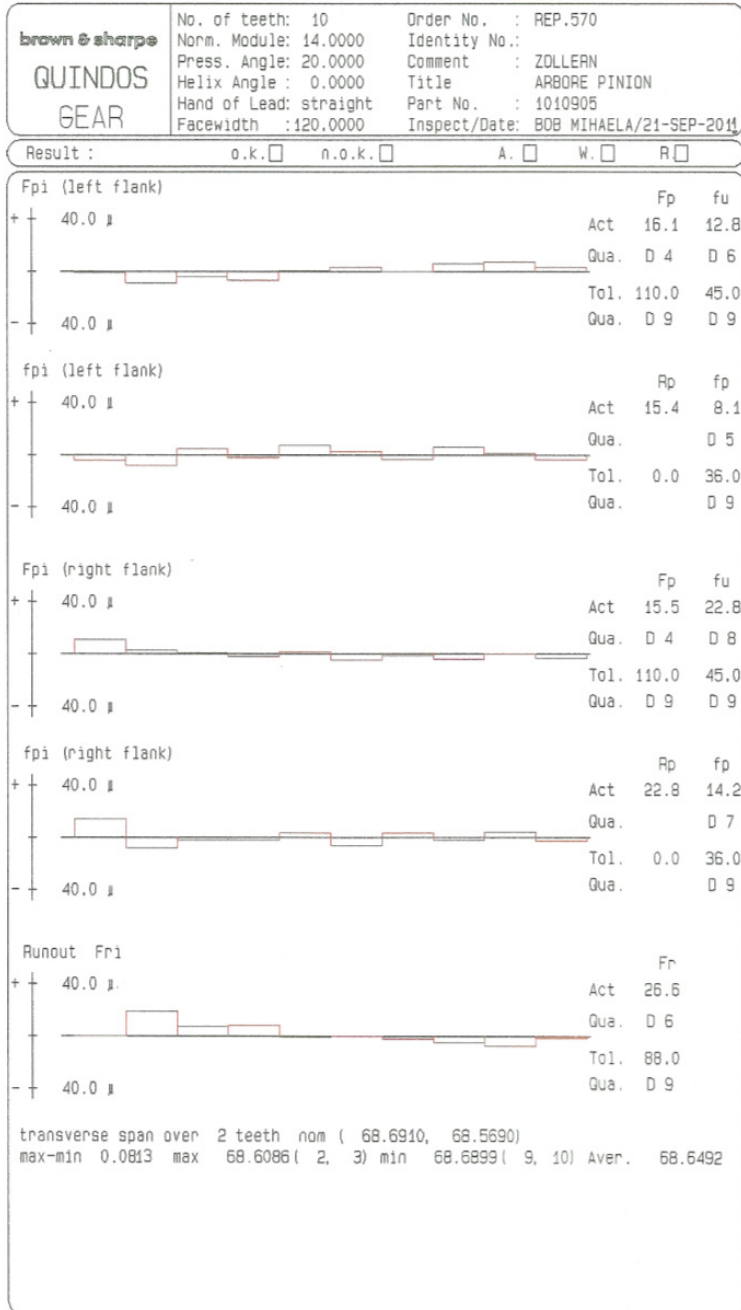
A **11. és 12. ábrákon** a fogprofil, valamint osztáshiba diagramjai láthatók.

**5. táblázat.** A gyakorlati kísérletek keretében megmunkált és leellenőrzött fogaskerekek adatai

N°	norm	m <sub>n</sub>	z	α	β	Addendum modification	Profile modification
Wheel 1	DIN	12	18	20 <sup>0</sup>	0	0	-
Wheel 2	AGMA	10,808511	30	28 <sup>0</sup>	0	0	$\Delta\alpha_f = 0,027$ $\Delta\alpha_a = 0,033$
Wheel 3	DIN	8	70	20 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup> (left)	x = -0,411	-
Wheel 4	DIN	8	16	20 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup> (right)	x = 0,411	-
Wheel 5	DIN	12	14	20	0	0	-
Wheel 6	AGMA	10,948275 (DP-2,32)	18	25 <sup>0</sup>	0	0	$\Delta\alpha_f = \Delta\alpha_a = 0,038$



11. ábra. A fogprofil és -irány diagramja



12. ábra. Osztáshibák diagramja

A részletes ellenőrzések alapján a kifejlesztett technológiával előállított komplex profilú fogaskerek beilleszkednek a DIN 3962 szabvány 5. pontossági osztályába, és a szélturbinákat gyártó németországi cég megfelelőknek találta.

## 6. Következtetések

A minél komplexebb konstrukciójú hajtóművek, valamint az igényelt pontossági és működési feltételek új technológiákat igényelnek. A CNC vezérlések nagy segítséget nyújtanak ez irányban, de ezek megfelelő programozása és beállítása megfelelő fogazáskinetikai és matematikai számításokat igényelnek. Az utolsó 4 évben csoportunk a szélturbinákban alkalmazott hajtóművek fogaskerekei korszerű technológiájának fejlesztésével is foglalkozott. A statisztikai előrejelzések szerint 2030-ban a világ őszenergia szükséglete kb. 50%-kal lesz nagyobb a mostanihoz viszonyítva. A kőolaj- és földgáztartalékok, szintén az előrejelzések szerint, alig 2040–2070-ig tudják fedezni a szükségleteket.

A fentiek következtében a szakemberek mind jobban kell figyeljenek a megújuló energiaforrásokra, és így mind nagyobb fejlődés észlelhető a szélenergiát felhasználó turbinák fejlesztésében, gyártásában. A szélturbinák minél környezetkímélőbb működése és élettartalma nagymértékben függ a beépített hajtóművektől is. Ezek szerint úgy értékelhetjük, hogy a fentiekben ismertett ez irányú kutatásaink hozzájárulhat-

nak e turbinák felépítési és működési paramétereinek javításához.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bonori, G.: *Optimum profile modifications of spur gears by means of genetic algorithms*. Journal of Sound and Vibration Volum 313, Issue 3-5, 17 June 2008. 603–616.
- [2] Gyenge, Cs., Mera, M., Bâlc, N.: *Research on Calculating the Parameters Value for Modification the Longitudinal Profile of the Cylindrical Gears*. In: Proceedings of DAAAM 2001, 24-27 Okt. Jena. ISBN 3-901-19-4, 175–176..
- [3] Gyenge, Cs., Bob, M., Bob, D.: *Measurement of a spur gear on a BROWN&SHARPE GHIBLI TRAX machine using QUINDOS*. Anals of DAAAM for 2006 proceedings, Vienna. ISSN 1726-9679:151–152.
- [4] Gyenge, Cs., Bob, M., Ros, O.: *Some characteristic aspects regarding grinding of spur gears with profil modifications*. In: The 20th DAAAM INTERNATIONAL SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation ISSN 1726-9679. 645–646.
- [5] Ráfa, A., Gyenge, Cs.: *Some specific aspects regarding the manufacturing of renewable energy exploitation equipment*. In: MicroCAD International Scientific Conference. Miskolc – Hungary 20-21 March 2010 (pag. 191-196) ISBN 978-963-661-4 0. ISBN 978-963-661-823-0. 191–196.
- [6] Ráfa, A., Gyenge, Cs., Pacurar, A.: *Applied mathematical algorithm at the manufacturing of gears with profile modifications*. Acta Tehnica Napocensis – Applied mathematics and mechanics, Volume 55, Issue 1., 249–252, 2012; ISSN- 1221-5872.
- [7] <http://www.insse.ro>.
- [8] <http://www.ewea.org>.