

AZ ÁLTALÁNOS ÉS KOMPENZÁLT FOGAZAT SZERKESZTŐ MÓDSZEREI A FOGASKERÉKBOLYGÓMŰVEKBEN

TERPLÁN ZÉNÓ*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1972. március 24-én]

1. Bevezetés

Közismert, hogy egyenes fogazatú hengeres kerékpár kapcsolódásában az általános fogazat nyújtja a legkedvezőbb fogazati jellemzőket [1—3]. Éppen ezért a fogaskerék-bolygóművek fogaskerékpárjaiban is célszerű volna az általános fogazatot megvalósítani. A szakirodalom e kérdésről kevés támpontot nyújt [4—8], célszerű tehát összefoglalni az alkalmazás lehetőségeit.

A legbonyolultabb fogaskerék-bolygómű is mindig felbontható alapegységekre:

elemi bolygóműre külső-külső kapcsolódással (1. ábra);

elemi bolygóműre külső-belső kapcsolódással (2. ábra);

egyszerű bolygóműre (3. ábra);

kettős bolygókerékes bolygóműre a bolygókerék külső és belső kapcsolódásával (4. ábra);

kettős bolygókerékes bolygóműre a bolygókeréknek csak külső kapcsolódásával (5. ábra);

kettős bolygókerékes bolygóműre a bolygókeréknek csak belső kapcsolódásával (6. ábra).

Az 1—6. ábrák egyszerűsített bolygómű vázlatok, ahol l a háznak, 2 a napkeréknek, 3 a bolygókeréknek, 4 a gyűrűkeréknek és k a karnak jele.

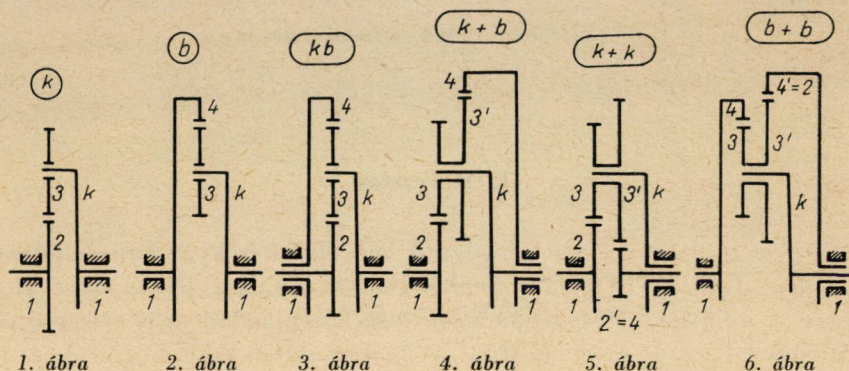
Mivel egy-egy alaptípus szabatos elnevezése eléggé hosszú, helyettük az ábrán feltüntetett egyszerű betűjeleket használjuk, amelyekben a k a külső-külső és b a belső-külső kapcsolódásra utal, s így az ábrák sorrendjében megkülönböztethetjük a következő betűjeles alaptípusokat: k , b , kb , $k + b$, $k + k$, $b + b$.

Az irodalomból ismert általános fogazat [1—3] minden további nélkül megvalósítható a k és b típusú bolygóművekben.

* Prof. Dr. Terplán Zénó, Miskolc-Egyetemváros, Nehézipari Műszaki Egyetem.

A $k + b$, $k + k$ és $b + b$ típusokban is megvalósítható az általános fogazat azzal a megszorítással azonban, hogy a két fogaskerékpár-kapcsolódás közül az egyiknek tengelytávolsága már kötött (éppen a másikéval azonos).

A legtöbb problémát a kb típus jelenti azzal a kötöttséggel, hogy ugyanannak a bolygókeréknek kell egyidejűleg a nap- és a gyűrűkerékkel kapcsolódnia.



A következőkben összefoglalás olvasható arról, mely szerkesztéseket lehet megvalósítani a kb típusú, ún. egyszerű bolygóműben az elemi fogazattól eltérő *kompenzált*, ill. *különleges általános fogazatokra*, ha a foggörbék *körevolvensek*.

2. Kompenzált fogazat kiegyenlített csúszásra

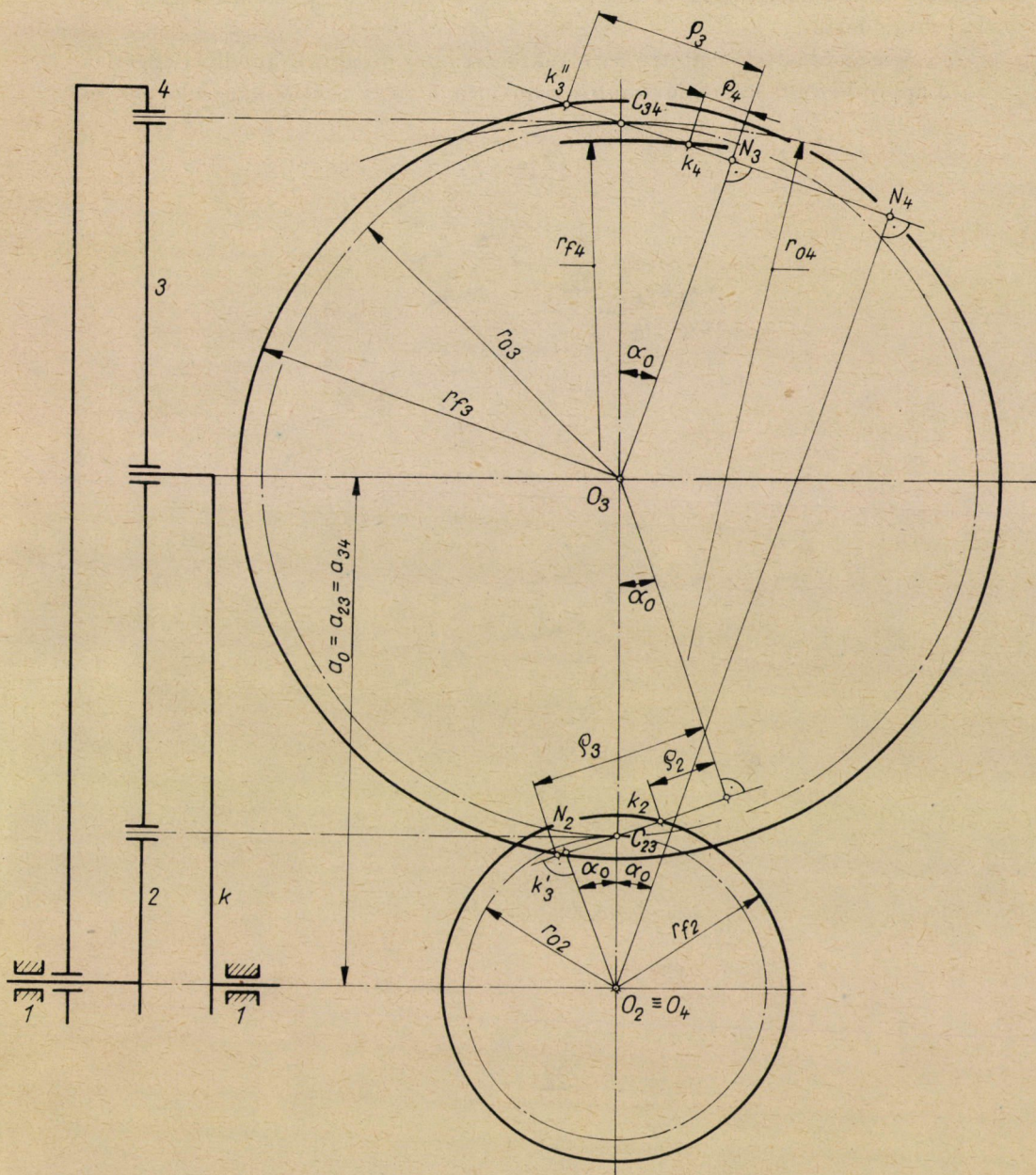
A kb típusú bolygómű elemi fogazat kapcsolódásához képest már a kompenzált fogazat is előnyösebb. Ritkán fordul elő ugyanis, hogy az elemi fogazat — egyszerűsége mellett — egyben kedvező üzemi tulajdonságú.

A több fajta lehetőség közül a kompenzált fogazat fizikai alapja a *kiegyenlített csúszás* lehet, amely lényegében azt jelenti, hogy a fogaskerékpár szélső kapcsoló pontjaiban az ún. η *relatív csúszás*

$$\eta = \frac{q_i \Delta\varphi_i - q_j \Delta\varphi_j}{q_j \Delta\varphi_j}, \quad \text{ahol } q_i \Delta\varphi_i > q_j \Delta\varphi_j \quad (1)$$

(q görbületi sugár, $\Delta\varphi$ a Δt időhöz és a legördülési ívhez tartozó középponti szög) értékek kiegyenlítettek, és ugyanakkor egy önkényes határ (pl. 3) alatt legyenek. A relatív csúszás tehát (1) szerint az azonos idő alatt egymáson legördülő foggörbe-szakaszok különbségének viszonya a kisebbik ívhosszhoz.

A külső-külső és a belső-külső kapcsolódású hengeres, egyenes fogazatú fogaskerekre e probléma szerkesztéssel (a Vörös-féle szerkesztéssel) [1–3], sőt számítással [9] is megoldott. A kb típusú bolygómű esetében a mindkét kapcsolódás szempontjából „közös” bolygókerék négy szélső kapcsoló pontot

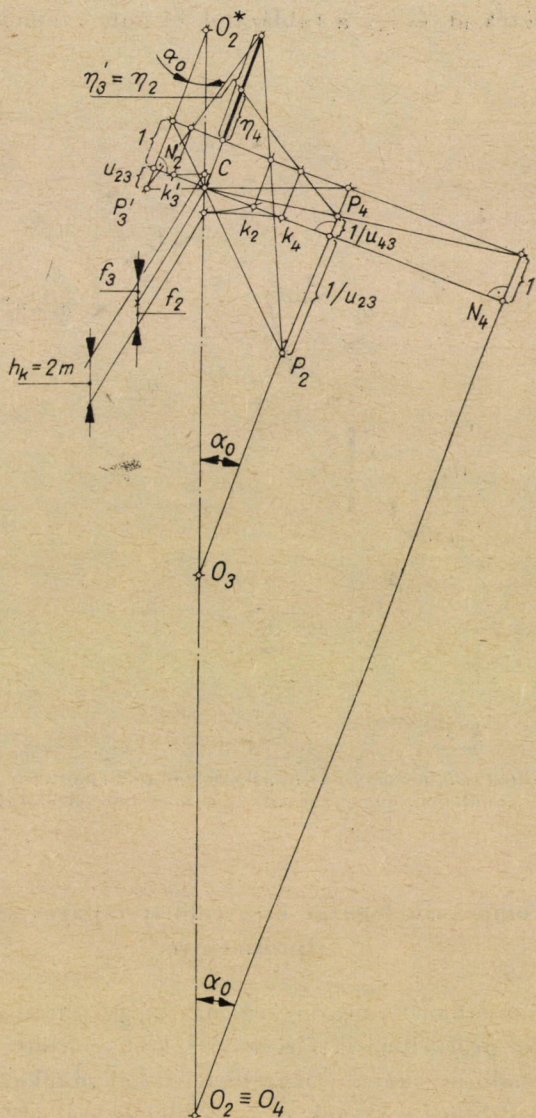


7. ábra. A kb típusú fogaskerék-bolygómű kapcsolódási vázlata elemi fogazatok esetén, feltüntetve a négy szélső kapcsoló pontot (k_2 , k_3 , k_3' és k_4), amelyeket a fejkörök metszenek ki az α_0 alapprofilszögű kapcsolóvonalakból. A napkerék elemi fogazattal alámetszett

$(k_2, k'_3, k''_3 \text{ és } k_4)$, amelyből kettő ($k'_3 = k''_3$) egybeesik. Utána bebizonyította, hogy a négy szélső kapcsoló ponthoz tartozó relatív csúszás érték közül mindig: $\eta''_3 < \eta'_3$, és így a négyszeres kiegyenlítés helyett elegendő a háromszoros, amelyben már csak arra kell ügyelni, hogy

$$\eta_2 = \eta'_3 > \eta_4; \eta_2 = \eta_4 > \eta'_3; \eta'_3 = \eta_4 > \eta_2. \quad (2)$$

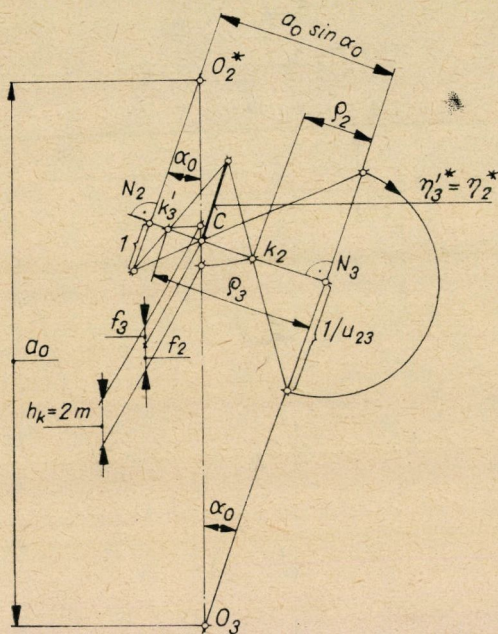
legyen.



9. ábra. A 7. ábra megoldása kiegyenlített relatív csúszásra (azaz a h_k közös fogmagasság helyének rögzítése), amikor $\eta_2 = \eta'_3 > \eta_4$ (az iteráció szerkesztési vonalainak elhagyásával). A szerző módszere [10–14]

A szerkesztést az irodalomból ismertnek feltételezve adott példát mutat a 9. ábra, amelynél: $\eta_2 = \eta'_3 > \eta_4$!

E szerkesztő módszert a szerző számító módszerre is kidolgozta, elektronikus számítógépre programozta [13], és gyorsan használható táblázatokat [12], ill. nomogramot [14] készített. Később munkatársai, APRÓ F. [15] és BUZGÓ J. [16] doktori értekezéseikben ezeket annyiban finomították, hogy a k_4 szélső kapcsoló pontot az interferenciahatárra, k_T pontra (k_T pontot l. a 16. ábrán) helyezték át, és így a táblázatok és nomogramok kissé módosultak [17].



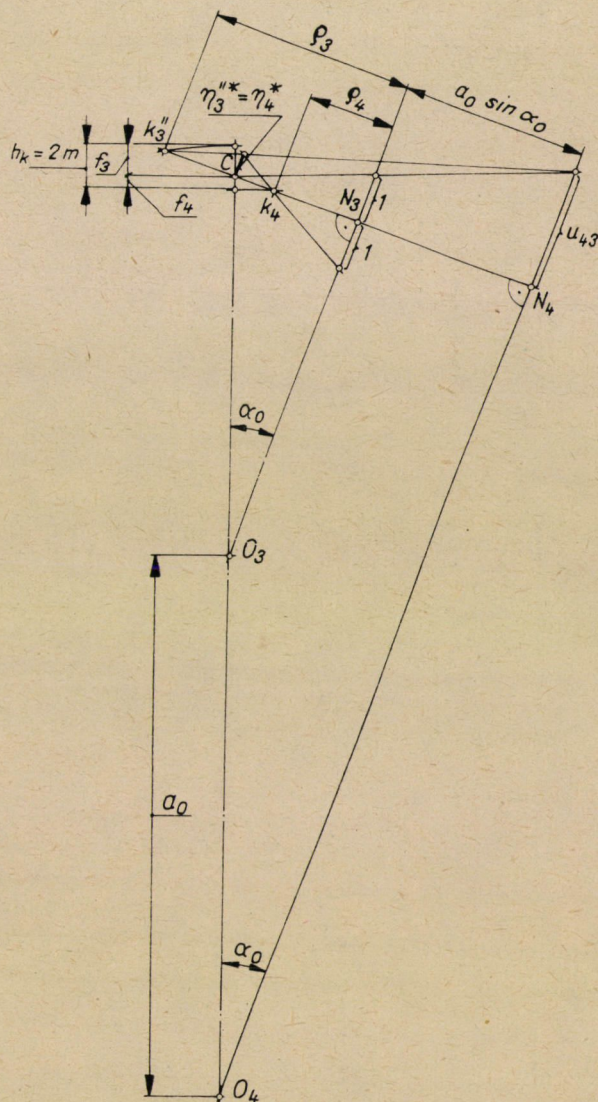
10. ábra. A kiegyenlített relatív csúszásra vonatkozó Szota-Scholtz-féle szerkesztés (az iteráció szerkesztési vonalainak elhagyásával) a nap- és bolygókerék kapcsolódására

3. Kompenzált fogazat kiegyenlített fajlagos súrlódási teljesítményre

A szakirodalomban természetesen más kiegyenlítési alapelvek is ismertek (pl. $\pm 0,5$ -ös profileltolási tényezővel; kiegyenlített fogtővastagsággal; kiegyenlített súrlódó munkával stb.). A szerző két munkatársa, SZOTA GY. és SCHOLTZ P. [18] BÜCHNER K.-nak egy régi dolgozatát [19] elemezve új szerkesztési eljárást dolgozott ki a *fajlagos súrlódási teljesítmények kiegyenlítésére*. E szerint az időben érintkező felületegységre eső súrlódási teljesítménynek

van a legnagyobb szerepe a fogfelületek kopására. Ha tehát a szélső kapcsolási pontokban a fajlagos súrlódási teljesítmények kiegyenlítettek, és nem haladnak meg egy tapasztalati megengedett értéket, akkor a fogaskerékpár geometriai méretei megfelelőek.

A levezetések mellőzve egy külső fogazatú kerékpár szélső kapcsoló pontjaiban a következő w fajlagos súrlódási teljesítmények írhatók egy-egy

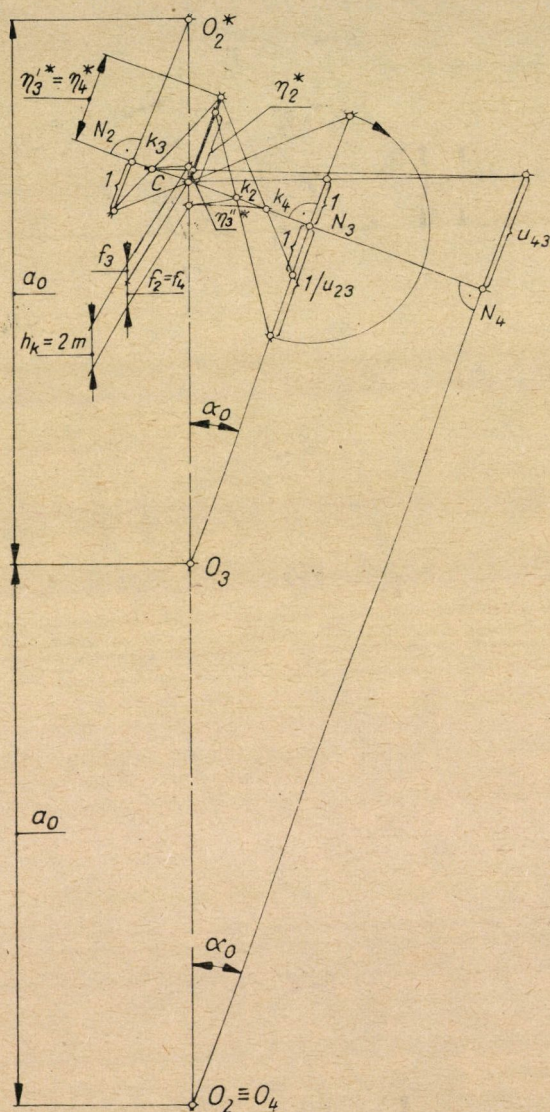


11. ábra. A kiegyenlített relatív csúszásra vonatkozó Szota – Scholtz-féle szerkesztés a bolygó- és gyűrűkerék kapcsolódására (az iteráció szerkesztési vonalainak elhagyásával)

kerék lábrészére elemi fogazatot feltételezve:

$$w_{l1} = \frac{\mu F_n}{b} \frac{\omega_1 + \omega_2}{2\pi} \left| \left(\frac{r_{01} \sin \alpha_0}{\varrho_1} - 1 \right) \right|; \quad (3)$$

$$w_{l2} = \frac{\mu F_n}{b} \frac{\omega_1 + \omega_2}{2\pi} \left| \left(\frac{r_{02} \sin \alpha_0}{\varrho_2} - 1 \right) \right|, \quad (4)$$



12. ábra. A kb típusú fogaskerék-bolygómű h_k közös fogmagasságának elhelyezése a Szota—Scholtz-féle szerkesztés felhasználásával, de az iteráció szerkesztési vonalainak elhagyásával

ahol μ a súrlódási tényező, F_n a fogkapcsolódás normál ereje, b a fogszélesség, ω a szögsebesség, α_0 az osztó kör sugara, ϱ a körevolvens görbületi sugara és α_0 az alapprofilszög. A két fogaskerék adatait az 1 és 2 index különbözteti meg.

A (3) és (4) alapján SZOTA Gy. és SCHOLTZ P. nagyon egyszerű szerkesztést dolgozott ki a szélső kapcsoló pontokban fellépő w -kel arányos értékek meghatározására (l. [18] 5. ábráját), továbbá iterációval a h_k olyan elhelyezésére, hogy a fajlagos súrlódási teljesítmények kiegyenlítettek legyenek.

A kedvező, kevés vonalból álló szerkesztést kiterjesztették a kiegyenlített csúszásra is. A 10. ábrabeli szerkesztés a nap- és bolygókerék, míg a 11. ábra a gyűrű- és bolygókerék között mutatja be a Szota—Scholtz-féle szerkesztést, ahol η^* -k az η -kal arányos értékek.

Ezek után úgy tűnik, megvan a lehetőség a **kb** típusú bolygómű h_k közös fogmagasságának elhelyezésére is ezzel a szerkesztési módszerrel (12. ábra), de amint látni fogjuk (15. ábra), némi korrekció szükséges.

4. A két szerkesztési módszer összehasonlítása [20]

Ha a két szerkesztési módszert összehasonlítjuk, akkor a 13. ábra a külső-külső, és a 14. ábra a belső-külső kapcsolódás esetére h_k közös fogmagasság elhelyezésére pontosan ugyanazt az eredményt adja. Ebből a szempontból tehát a két módszer egyenértékű. A szerkesztés pontossága szempontjából a Szota—Scholtz-féle módszer pontosabb a Vörös-félénél, mert kevesebb vonalból áll, és a metsződő egyenesek szögei kevésbé hegyesek.

Ha viszont a **kb** típusú bolygóműben alkalmazzuk a kétfajta módszert, akkor a h_k közös fogmagasságra két különböző elhelyezést kapunk.

Nincs ma még átfogó irányelv arra, hogy a többfajta kiegyenlítési mód közül melyik a legjobb. Így tulajdonképpen a szerkesztő mérnöknek „szabad keze” van a tekintetben, melyik módszert alkalmazza a h_k helyének rögzítésére.

Felmerülhet az a gondolat is, hogy a **kb** típusú bolygómű esetén is a Szota—Scholtz-féle egyszerűbb és pontosabb szerkesztési módot kívánja valaki alkalmazni (12. ábra), de változatlanul a kiegyenlített csúszás fizikai alapelve alapján szeretné a h_k -t elhelyezni. Ez is megvalósítható.

Írjuk fel először az (1)-ben általánosan értelmezett relatív csúszást a továbbiakban összehasonlításul szükséges négy szélső kapcsoló pontra (a 7. ábra jelöléseivel):

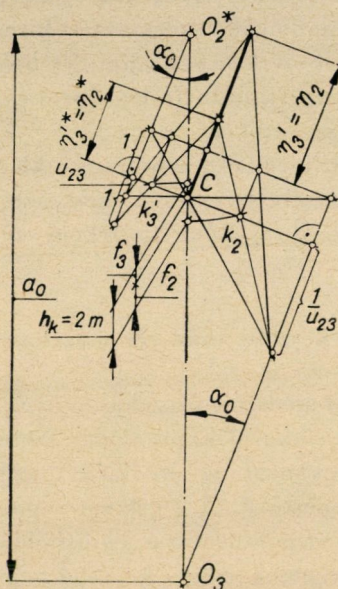
$$\eta_2 = \frac{a_0 \sin \alpha_0 \cdot \varrho_2}{\varrho_2 u_{23}} \quad 1, \quad (5)$$

$$\eta'_3 = \frac{\varrho_3 u_{23}}{a_0 \sin \alpha_0 - \varrho_3} \quad 1, \quad (6)$$

$$\eta_3'' = \frac{\varrho_2 u_{43}}{a_0 \sin \alpha_0 + \varrho_3} - 1, \quad (7)$$

$$\eta_4 = \frac{a_0 \sin \alpha_0 + \varrho_4}{\varrho_4 u_{43}} - 1, \quad (8)$$

ahol u a fogszámviszony jele.



13. ábra. A kiegyenlített relatív csúszás Vörös-, ill. Szota—Scholtz-féle szerkesztési végeredményének (azaz h_k közös fogmagasság azonos elhelyezésének) bizonyítása külső-külső kapcsolódásra

Vegyük ezek után szemügyre a 10. ábrát. A k_2 kapcsoló pontra vonatkozó szerkesztés hasonló háromszögeire felírható, hogy

$$\frac{\eta_2^* + 1}{r_{03} \sin \alpha_0} = \frac{1}{\varrho_2}, \quad (9)$$

amelyből rendezéssel és $u_{23} = |u_{23}|$ átírással

$$\eta_2^* = \frac{u_{23}}{1 + u_{23}} \left(\frac{a_0 \sin \alpha_0 - \varrho_2}{\varrho_2 u_{23}} - 1 \right) \quad (10)$$

számítható. Ez az (5)-ben felírt η_2 -től csak a zárójel előtti, egyébként adott áttételű fogaskerékpár állandójával különbözik. Ezzel bizonyítottuk a 13. ábrabeli szerkesztések azonos végeredményét.

$$\eta_4^* = \frac{u_{43}}{u_{43}-1} \left(\frac{a_0 \sin \alpha_0 + \varrho_4}{\varrho_4 u_{43}} - 1 \right) = \frac{u_{43}}{u_{43}-1} \eta_4, \quad (14)$$

azaz

$$\frac{\eta_3''}{\eta_3'} = \frac{\eta_4^*}{\eta_4} = \frac{u_{43}}{u_{43}-1} \quad (15)$$

eredményekre jutunk.

Ha tehát **kb** típusú bolygóművekre akarjuk alkalmazni az egyszerűbb szerkesztést, de úgy, hogy a relatív csúszáskiegyenlítés alapján rögzítjük h_k helyét, akkor új pólusokat kell szerkeszteniünk a következőképpen:

$$\left. \begin{array}{l} u_{23} \text{ helyett } u_{k2} = \frac{1+u_{23}}{u_{23}} u_{23} = 1+u_{23}; \\ 1 \text{ helyett } u_{k3}' = \frac{1+u_{23}}{u_{23}}; \\ u_{43} \text{ helyett } u_{b3}'' = u_{43}-1; \\ 1 \text{ helyett } u_{b4} = \frac{u_{43}-1}{u_{43}}. \end{array} \right\} \quad (16)$$

továbbá

A szerkesztés a 15. ábrán látható.

5. Az általános fogazat egyik változata az egyszerű fogaskerék-bolygóművekben

Néhány szakirodalmi utalás [4–8] elemzéséből nyugodtan az ajánlható APRÓ F. [15] alapján, hogy a **kb** típusú bolygómű külső-külső kapcsolódását adott esetben érdemes *általános* fogazattal megvalósítani ($\alpha_g \approx 24 \dots 28^\circ$ -os kapcsolószöggel), ugyanakkor a belső-külsőjét a már adott bolygókerékkel *kompenzált* fogazattal ($\alpha_0 = 20^\circ$ -os, szabványos alapprofilszöggel). Ezzel a megoldással nyilván javulnak a működési jellemzők, ugyanakkor a **kb** típusú bolygóműre jellemző fogszámválasztási szempontok, továbbá az áttételi viszonyok némiképpen megváltoznak.

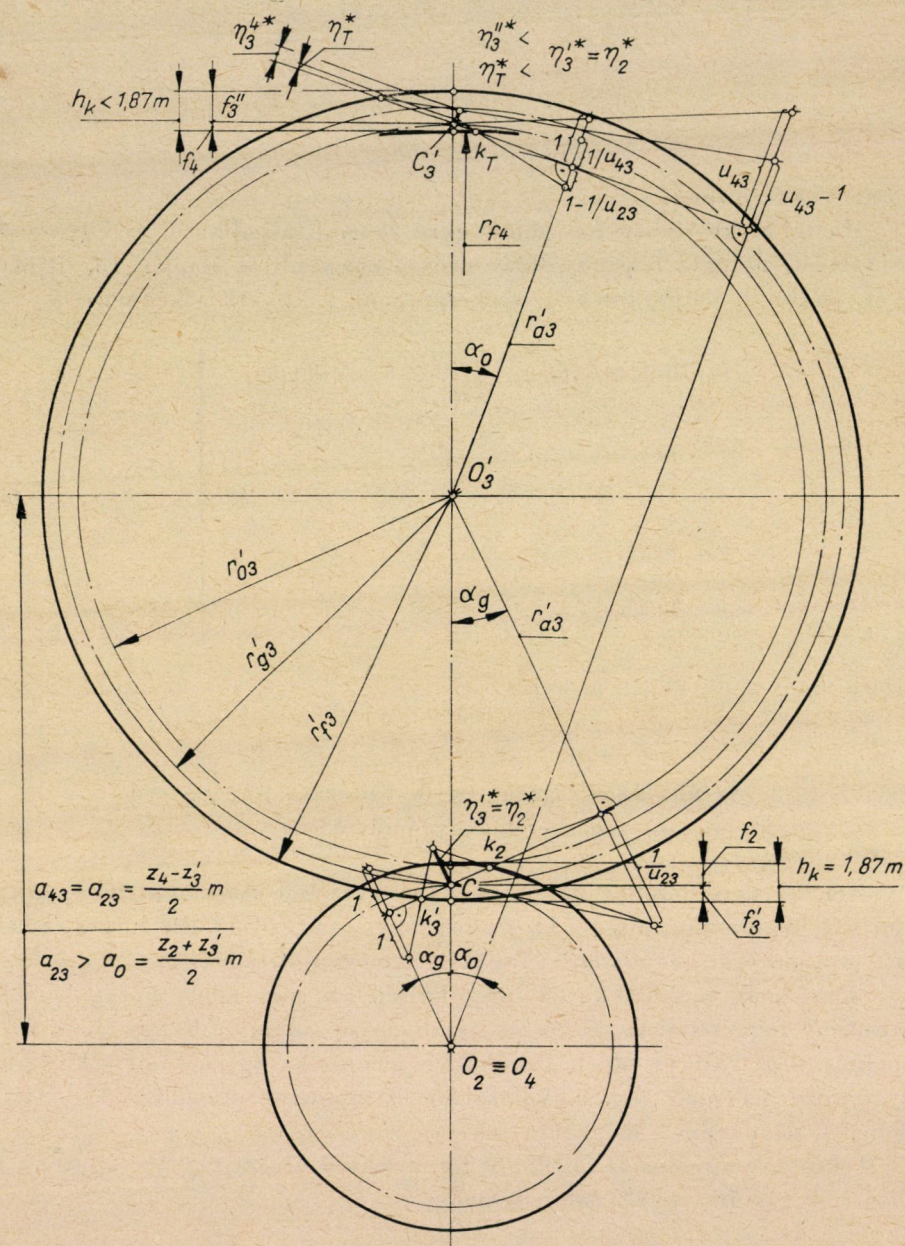
Tekintsük ugyanis át az előbbi feltételekkel megrajzolt 16. ábrát. A **kb** típusú bolygóműre egyébként jellemző

$$z_4 - z_2 = 2z_3 \quad (17)$$

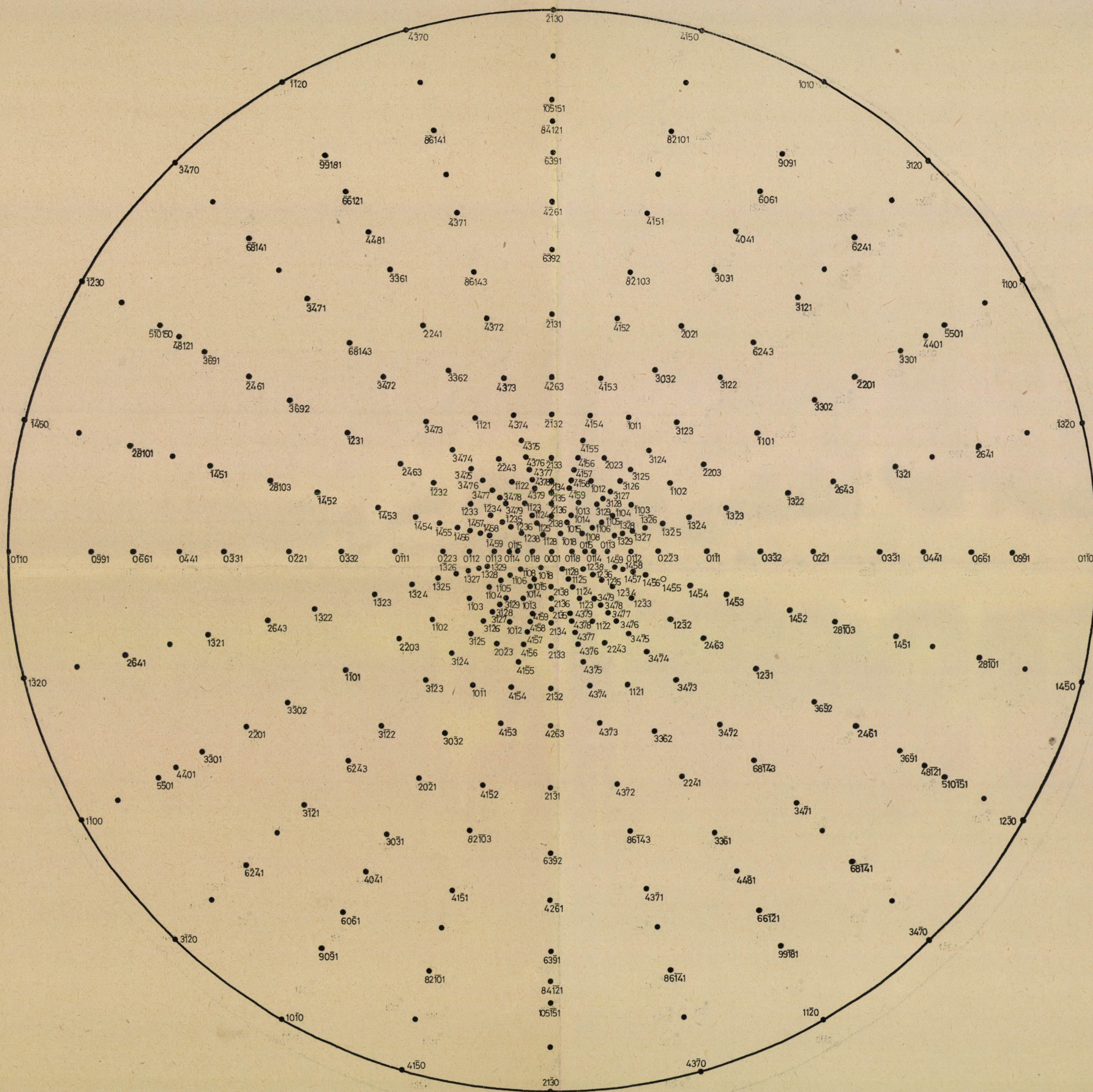
ill.

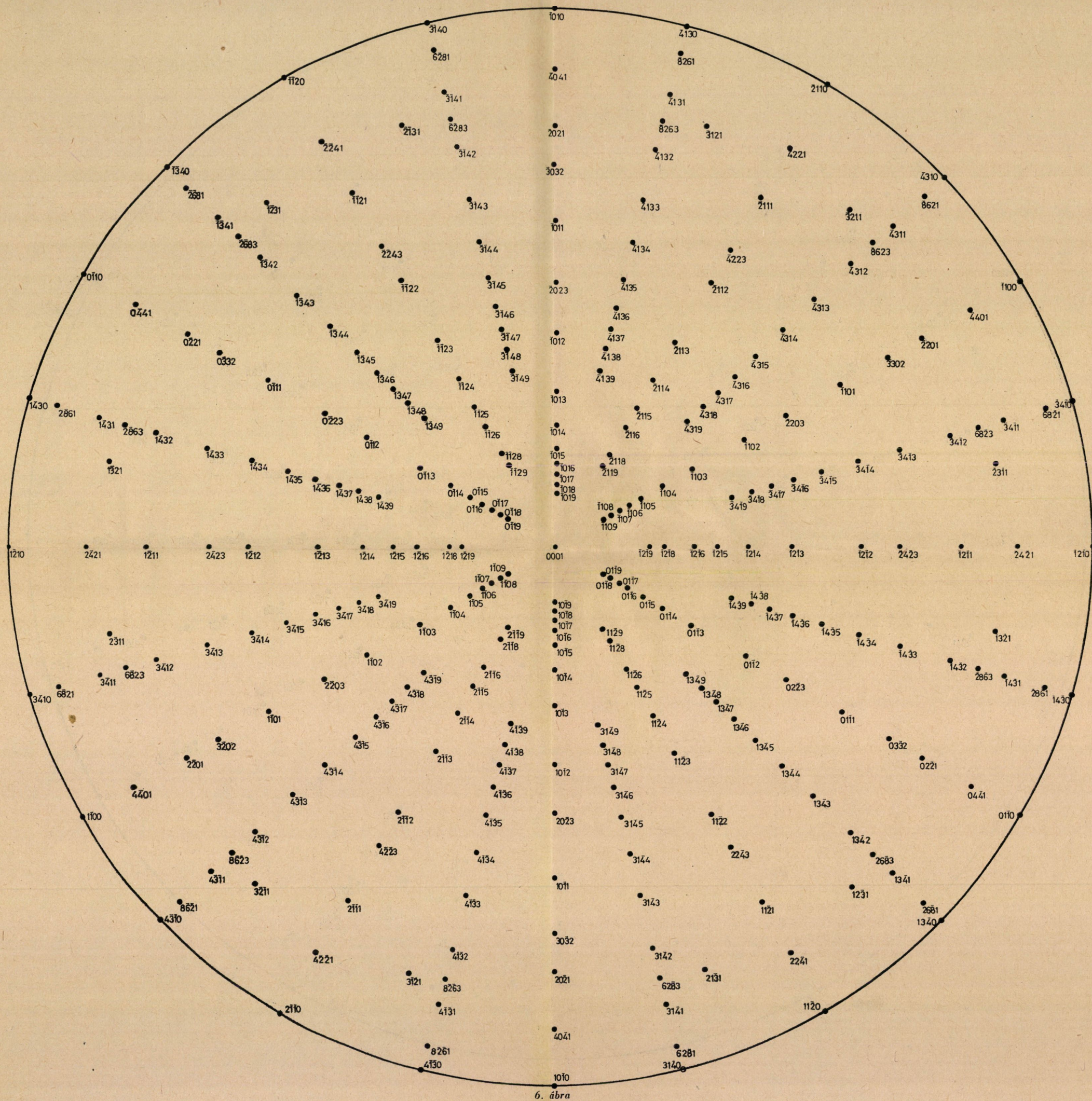
$$i_{2k} = 1 - u_{42} + u_{42} i_{4k} \quad (18)$$

összefüggések csak elemi és kompenzált fogazat esetében érvényesek.



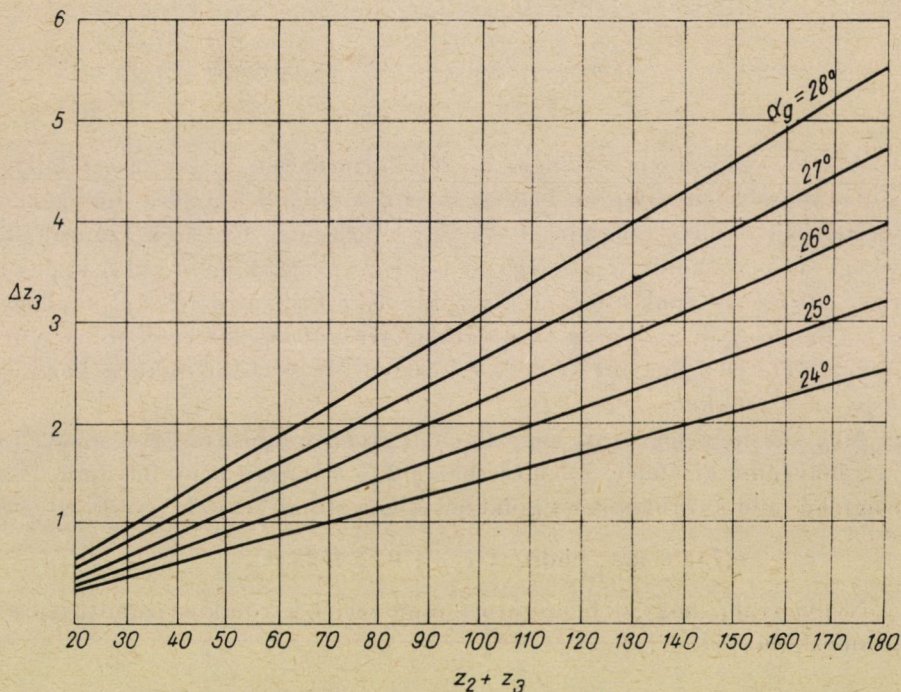
16. ábra. A h_k közös fogmagasság helyzetének rögzítése, ha a kb típusú fogaskerék-bolygómu nap- és bolygókerék kapcsolata általános fogazatú, ugyanakkor a bolygó- és gyűrűkerék kapcsolata a már adott bolygókerékkel kompenzált fogazatú, a bolygókerék fogszámának kismértékű módosításával. Az iterációs szerkesztési vonalakat nem tüntettük fel. A gyűrűkerék fejkörét k_T határozza meg, hogy a bolygókerék lábinterferenciája ne okozzon zavart





A külső-külső kapcsolódás *általános* és a belső-külső kapcsolódás *kompenzált* fogazatú megoldása esetén (17) helyett

$$\frac{z_4 - z'_3}{\cos \alpha_0} = \frac{z_2 + z'_3}{\cos \alpha_g} \quad (19)$$



17. ábra. $\Delta z_3 = f(z_2 + z_3; \alpha_g)$ diagram, vagyis az elemi, ill. kompenzált fogazatra érvényes $z_4 - z_2 = 2 z_3$ egytengelyűségi feltétellel rögzített fogszámokhoz viszonyítva $\Delta z_3 = z_3 - z'_3$ bolygókerék fogszám-módosításának diagramja a nap- és bolygókerék fogszámösszegének, ill. a kapcsolószögnek függvényében, az *általános fogazat* megvalósítására. A z_2, z_3, z_4 fogszámokhoz viszonyítva a z_2, z'_3, z_4 kissé módosított fogszámokkal az eredeti kinematikai áttétel némiképp megváltozik. APRÓ F. ábrája [15]

Mivel $\alpha_g > \alpha_0$, a $z_2 + z'_3 < z_4 - z'_3$. A fogszámokban tehát bizonyos változtatásokat kell végrehajtani a (17)-beliekhez képest. APRÓ F. [15] a bolygókerék kismértékű megváltoztatását javasolja, s erre a levezetéseinek eredményét diagramban adta közre (17. ábra).

E diagramban pl. egy egyébként elemi vagy kompenzált fogazatra alkalmas (7—15. ábra) $i_{2k} = 6,75$ kinematikai áttételt megvalósító $z_2 = 16, z_3 = 38$ és $z_4 = 92$ a $z_2 + z_3 = 54$ alapján $\Delta z_3 = 1$ -et és $\alpha_g \approx 25^\circ$ -ot ad. Ezzel $z'_3 = 37$ -re módosul. Ezekkel az adatokkal rajzoltuk meg a 16. ábrát.

A h_k közös fogmagasság számításához szükséges előbb az általános és az elemi tengelytávolság arányát meghatározni, amely jelen esetben

$$\frac{a}{a_0} = \frac{z_4 \cdot z'_3}{z_2 + z'_3} = \frac{92 \cdot 37}{16 + 37} = \frac{55}{53} \approx 1,0377.$$

Ebből [21] alapján (m modullal)

$$\frac{h_k}{m} = 2 \cdot \frac{z_2 + z'_3}{2} D \left(\frac{a}{a_0} \right) = 2 \cdot \frac{53}{2} 0,004\,776\,7 \approx 1,87.$$

A h_k/m közös fogmagasságot a szélső pontokbeli kiegyenlített fajlagos súrlódási teljesítmény alapján helyezzük el. Ez kijelöli a nap- és bolygókerék főméreteit, továbbá a működés x_2 és x'_3 profileltolási tényezők számíthatók. Mivel így a bolygókerék fejkörsugarát is megkaptuk, a belső-külső kapcsolat kompenzált fogazatának összes adata is könnyen kiszámítható a h_k/m elhelyezésével (16. ábra), ill. $x_4 = -x'_3$ profileltolási tényezővel. Itt legfeljebb a gyűrűkerék fejkörét kell k_4 helyett k_T -ből szerkeszteni, s ezért a belső-külső kapcsolat h_k/m -je kissé csökken.

Meg kell még jegyezni, hogy ilyen fogszám-módosítás kissé megváltoztatja a bolygómuű áttételét. Jelen esetben a $2 \rightarrow k$ teljesítmény-folyamú, 1-szabadásfokú (álló gyűrűkerekű) működés kinematikai áttétele (szerkesztéssel):

$$i'_{2k} \approx 6,73, \text{ a már említett } i_{2k} \approx 6,75 \text{ helyett.}$$

Nyilvánvaló, hogy a bemutatott módszer elektronikus számítógépre is programozható.

6. Összefoglalás

Az előadottak szerint a viszonylag bonyolult kb típusú fogaskerék-bolygómuűvek is méretezhetők kompenzált fogazatra, vagy a bolygókerék kis fogszám-módosításával a nap- és bolygókerék kapcsolódásában általános, a gyűrű- és bolygókerék kapcsolódásban a már kész bolygókerékhez simuló kompenzált fogazattal. Mindegyik megoldás szerkesztő módszer alkalmazását is megengedi, ezek több változatát mutatja be e tanulmány részben a szerző saját, másrészt munkatársai kutatásait felhasználva.

IRODALOM

1. BOTKA Imre: Egységes magyar homlokkerék fogazatrendszer. Mérnöki Továbbképző Intézet kiadása, Budapest 1953.
2. TERPLÁN Zénó — DROBNÍ József — LÉVAI Imre: Gépelemek IV. (Fogaskerekűek). 3. kiad. Tankönyvkiadó, Budapest 1967.
3. VÖRÖS Imre: Gépelemek III. (Fogaskerekűek). 2. kiad. Tankönyvkiadó, Budapest 1961.

4. BERGSTRÄSSER, M.: Planetengetriebe mit auswechselbarer Übersetzung. — *Maschinenbautechnik* 10 (1961) 209—211.
5. BRASS, E. A.: Nonstandard Spur Gears. — *Product Engineering* 32 (1961), 31—33.
6. DÜMSIC, I. I.: Ob odnom neobjaseszłom uszlovim szborki planetarnogo rjada. — *Vesztnik Masinosztroenija* 38 (1958), 23—25.
7. KUDRJAVCEV, V. N.: Planetarnie peredaci. Masgiz. Moszkva 1960.
8. RICHTER, W.: Auslegung von Innenverzahnungen und Planetengetrieben. — *Konstruktion* 14 (1962), 489—497.
9. BUZGÓ József: Fogaskerekék méretezése elektronikus számológéppel. I. (Egyenes, külső, kompenzált fogazat profileltolástényezői.) — KGM Műszaki Tudományos Tájékoztató Intézet, Budapest 1965.
10. TERPLÁN, Z.: Bestimmung des ausgeglichenen relativen Gleitens der Planetengetriebe mit Doppelengriff des einstufigen Planetenrades. — *Acta Techn. Hung.*, 53 139—151.
11. TERPLÁN, Z.: Einfache Umlaufgetriebe mit ausgeglichenem Gleiten. — *Konstruktion* 18 (1966), 409—413.
12. TERPLÁN Zénó: A fogaskerék-bolygóművek méretezési kérdései. (Kézirat.) A TMB-hez benyújtott és elfogadott doktori értekezés. Miskolc, 1965. 83 o. + 76 o. függelék. Rövidítve megjelent a *Nehézipari Műszaki Egyetem Magyar Nyelvű Közleményei* XV. k.-ben. Miskolc (1967), 449—466.
13. TERPLÁN Zénó: Az elektronikus számítógép felhasználása a fogaskerék-bolygóművek tervezésénél. — „Számítógép alkalmazása a gépiparban” GTE Konferencia anyaga. Miskolc 1969. 1/3, 1—8.
14. TERPLÁN Zénó: A fogaskerék-bolygóművek geometriai méretezésének újabb eredményei. — „Kinematika-kinetika Kollokvium”. Nagymaros 1968, 1—12.
15. APRÓ Ferenc: Egy-szabadágfokú fogaskerék-bolygóművek tervezésének néhány kérdése. (Kézirat.) A Nehézipari Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karához benyújtott és elfogadott értekezés. Miskolc 1967, 1—76.
16. BUZGÓ József: Kiegészítés az egyszerű bolygómű kompenzált fogazatához. (Kézirat.) A Nehézipari Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karához benyújtott és elfogadott doktori értekezés. Miskolc 1969, 1—75.
17. TERPLÁN Zénó—APRÓ Ferenc—BUZGÓ József: Kiegészítés a fogaskerék-bolygóművek korrigált fogazatához. — GTE „II. Fogaskerék Konferenciájának” anyaga. Budapest 1969, 1—10.
18. SZOTA, G.—SCHOLTZ, P.: Bemerkungen zur Zahnkorrektur evolventenverzahnter Geradzahnstirnräder. — *Nehézipari Műszaki Egyetem Idegen Nyelvű Közleményei*, 27 Miskolc (1967), 167—177.
19. BÜCHNER, K.: Beitrag zur Kenntnis der Abnutzungs- und Reibungsverhältnisse der Stirnzahnrad. — *Z. VDI*, 46 (1902) 159—166; 278—284.
20. TERPLÁN, Z.: Dimensionierungsfragen der Zahnrad-Planetengetriebe. Akadémiai Kiadó. Sajtó alatt.
21. LÉVAI Imre—SZARKA Zoltán: D-függvény a fogaskerekék geometriai méretezéséhez. — *A Gépelemek Tanszékének Közleményei*, 203. sz. Miskolc (1969) 1—23.

Graphical Methods for Designing General and Compensated Gearing in Planetary Gear Trains. The relatively complicated simple planetary gear trains can be dimensioned for compensated gearing, furthermore by a small change of the number of teeth of the planet gear in the engagement of the sun gear and the planet gear and general gearing, and by a compensated gearing adapted to the ready planet gear in the engagement of the planet gear and the ring gear. Each procedure permits the use of graphical methods, several variants of which are presented in the paper using the research results partly due to the author, partly to his collaborators.

Zeichnerische Verfahren für den Entwurf von allgemeinen und kompensierten Verzahnungen für Zahnrad-Planetengetriebe. Die verhältnismäßig komplizierten Zahnrad-Planetengetriebe mit Doppelengriff des einstufigen Planetenrades können auch für V-Null-Verzahnung bemessen werden: weiterhin durch kleine Änderung der Zähnezahle der Planetenräder mit allgemeiner V-Verzahnung im Eingriff-Sonnenrad-Planetenrad, und durch die an das bereits fertige Planetenrad angepasste V-Null-Verzahnung im Eingriff-Planetenrad-Hohlrad. Jede Möglichkeit erlaubt auch die Anwendung zeichnerischer Verfahren, die in mehreren Varianten als Ergebnisse der Forschungen teils des Verfassers, teils seiner Mitarbeiter vorgeführt werden.