

Gyarmati József¹  – Hegedűs Ernő²  – Gávay György³ 

Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó

Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból

Application of Planetary Gears in Automatic Transmission –
Wilson Gearbox

Model of 3D Printed MBT Gearbox for Educational Purposes

Napjainkra az automata sebességváltók széles körben elterjedtek, nemcsak a polgári életben, de a katonai alkalmazásban is. A nagy tömegű lánctalpas harcjárműveken szinte kizárólag ilyen sebességváltót alkalmaznak. Jelen tanulmány ehhez kötődően ismerteti a Leopard 2 harckocsiban is alkalmazott Wilson-kapcsolást, illetve ennek oktatási célú 3D nyomtatott modelljét.

Kulcsszavak: automata sebességváltó, Wilson-kapcsolás, 3D nyomtatott oktatási modell

Nowadays hydraulic automatic transmission are widely used not only in civilian life, but also in military applications. There are hydraulic automatic transmissions in almost every heavy tracked combat vehicles. The present study describes the Wilson gearbox used in the Leopard 2 tank and its 3D printed model for educational purposes.

Keywords: automatic gearbox, Wilson design, 3D printed training model

¹ PhD, habil, tanszékvezető, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: gyarmati.jozsef@uni-nke.hu

² PhD, adjunktus, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: hegedus.erno@uni-nke.hu

³ PhD, adjunktus, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: gavay.gyorgy@uni-nke.hu

1. Bevezetés

A Magyar Honvédség 44 db Leopard 2A7HU harckocsi beszerzéséről döntött a Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program során. A harckocsik Renk HSWL 354 típusú automata sebességváltóval⁴ rendelkeznek.⁵ Cikkünkben az automata sebességváltón hidromechanikus kialakítást értünk, ami egy hidrodinamikus nyomaték váltóból és egy bolygóműves sebességváltóból áll. Jelen tanulmány az automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek, azon belül is a Wilson-kapcsolású automata sebességváltó vizsgálatát és bemutatását tűzte ki célul.

Általános tendencia a NATO által alkalmazott harc- és gépjárműveknél, hogy egyre elterjedtebben alkalmaznak automata sebességváltókat, így a Magyar Honvédség haditechnikai eszközei között is egyre növekvő számban jelennek meg ilyen sebességváltóval felszerelt típusok. A tanulmány célkitűzése, hogy feltárja és bemutassa az automata sebességváltók bolygóműveivel kapcsolatos összefüggéseket. E cél érdekében az NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék oktatási célra 3D nyomtatott sebességváltó-modell elkészítését is elvégezte, amelyet szintén bemutatunk a tanulmányban.

A korszerű harckocsikon már a II. világháborúban megjelent a hidromechanikus kialakítású automata sebességváltómű (automata sebességváltó). Az amerikai M-26 Pershing és az M-18 Hellcat harckocsikon már 1944-ben rendszeresítettek Allison gyártmányú Torqmatic 900-T típusú automata sebességváltót. Meg kell említeni, hogy az 1930-as években Magyarországon tervezett és épített V3, V4 harckocsi is automata (hidromechanikus) sebességváltóval volt felszerelve.

Az automata sebességváltók harcjárműveken való elterjedésének okait, a kézi kapcsolású mechanikus sebességváltóművekkel szembeni előnyös tulajdonságaiban lehet keresni. A nagy tömegű harcjárművekben a kézi kapcsolás jelentős nehézségekbe ütközött. A harcjármű vezetőjének jelentős erőt kellett kifejtenie, ami vezetés közben lekötötte. A szinkronizálási nehézségek tovább nehezítették a kapcsolást, esetenként gyakorlatlan vezetőnél pedig akár meg is akadályozták azt. Kapcsolás közben a hajtáslánc megszakadt, ami alacsonyabb sebességnél, nehéz terepen való haladáskor akár a harcjármű megállását is okozhatta.

Az automata sebességváltók bolygóműveinél a fokozatok kapcsolása lemezes tengelykapcsolók működtetésével történik, míg a mechanikus (kézi kapcsolású) sebességváltóknál az egyes fokozatokhoz tartozó fogaskerekek a főtengelyhez (korábban bordástengely) való rögzítésével történik. Az automata sebességváltóknál a hajtáslánc így lényegében teljesen nem szakad meg kapcsolás közben. A mechanikus sebességváltók esetében szinkronizálni kell a sebességeket, míg az automatánál nem. Lényeges tulajdonság, hogy a korszerű automata sebességváltók kapcsolás közben is a motor teljesítményének 60%-át továbbítják a kerék (lánctalp) felé. A kapcsolás gépi vezérlése, a korábbi hidromechanikus rendszert felváltva már elektronikus vezérlésű hidraulikus végrehajtó elemekkel történik. Az automata sebességváltók

⁴ A jóval elterjedtebb sebességváltó kifejezést használjuk a nyomaték váltó helyett.

⁵ Lastschaltgetriebe HSWL 354, lásd: <https://www.renk-group.com/de/produkte-service/produkte/fahrzeugant-riebe/fahrzeuggetriebe/hswl-354/>, illetve HSWL 354, lásd: <http://www.army-guide.com/eng/product377.html>

részét képező hidrodinamikus nyomatékváltó nyomatékátadási jellemzőiből, csillapításra való alkalmasságából (nincs mechanikus kapcsolat, csak hidraulikus) fakadóan a dinamikus terhelések a teljes járműhajtásláncre kiterjedően csökkennek, ami élettartam-növekedéssel és meghibásodáscsökkenéssel jár. A sebességváltókban korábban alkalmazott ásványi olajokat napjainkra fokozatosan felváltották a szintetikus olajok, amelyek élettartama, lerakódásképződésre való hajlama, külső hőmérséklet függvényében mutatott viszkozitásingadozása egyaránt sokkal kedvezőbb, így az automata sebességváltók olajcsere- és szervizperiódusa jelentősen megnövekedett. Fontos tulajdonság, hogy könnyen megvalósítható akár *több* hátrameneti fokozat is, ami jelentős harcászati képesség-növekedést jelent a harcjárművek esetében.

Az automata sebességváltók korai fejlődési fázisára több hátrányos tulajdonság volt jellemző. A hidrodinamikus nyomatékváltó működését jellemző szlip (csúszás), illetve a bolygóműves sebességváltó kevés számú alkalmazott fokozata a kézi kapcsolású váltóval szemben az üzemanyag-fogyasztás növekedését hozta magával. A napjainkban gyártott típusok esetében azonban a fokozatszám akár a nyolcat is elérheti, valamint a hidrodinamikus nyomatékváltó szlipjét egyes üzemmódokban mechanikus tengelykapcsoló iktatja ki. A hidrodinamikus nyomatékváltó szerepe a korszerű automata sebességváltóknál az indulásra és az első kettő, legfeljebb a harmadik sebességi fokozatok közötti váltásra korlátozódik.

Napjainkban a harcjármű-sebességváltókkal szemben támasztott alapvető követelmény a folyamatos teljesítménytöbbités. Ez az úgynevezett *power shift* kapcsolás automatizált kettős tengelykapcsolós DCT (*double clutch transmission*, kettős tengelykapcsolójú sebességváltó) sebességváltóművekkel is megvalósítható. Ez a megoldás viszont legfeljebb 600 Nm nyomaték továbbítására alkalmas jelenleg. A korszerű harckocsikra jellemző 800 kW feletti motorteljesítmény-tartományban a folyamatos teljesítményátvitelt lehetővé tevő megoldás a hidromechanikus kivitelű automata sebességváltó, amelynek elválaszthatatlan része a bolygóműves sebességváltómű. A korszerű – rendszerint 50 t feletti szerkezeti tömegű – harckocsikon rendre olyan automata sebességváltót építenek be, amely egy hidrodinamikus nyomatékváltóból és egy bolygóműves sebességváltóból tevődik össze. A hidraulikus rész egy hidrodinamikus nyomatékváltó, amely szivattyú, turbina és szabadon futóra épített vezetőkerékből épül fel. Nagyobb teljesítmény esetében két vezetőkeréket, illetve kettő turbinakeréket is alkalmazhatnak. Korszerű kialakításánál a nyomatékváltót súrlódó tengelykapcsoló hidalja át. A mechanikus rész egy bolygóműves sebességváltó, több bolygómű összekapcsolásával, amelyet lamellás tengelykapcsolókkal lehet különböző sorrendben kapcsolni, ahol a kapcsolás közben a teljesítménynek mintegy 60%-a megmarad. Főtengelykapcsoló nincs, ezért kapcsolás közben a hajtáslánc nem szakad meg, ennek köszönhetően kapcsolás közben nem lassul le a harcjármű. Nagy tömegű, kézi kapcsolású sebességváltóval szerelt harcjárművek esetében a jellemzően alacsony sebességből származó kis mozgási energia miatt az alacsonyabb fokozatok közötti felkapcsolás során a harcjármű jelentős mértékben lassulhatott vagy akár meg is állhatott. Az 1. táblázat adatai alapján célszerű megvizsgálni, hogy – összefüggésben a harckocsik tömegének növekedésével – miért állhat meg a harckocsi emelkedőn végzett haladás során, ha a sebességváltó teljesítményátadása nem folyamatos.

Érdekességképpen, a Rába H14 katonai terepjáró tehergépkocsi teljesítmény-tömeg aránya 20,6 kW/t, amely értékkel az 1. táblázatban szereplő harcjárműveknél kedvezőbb értéket mutat.

Rá kell világítani arra is, hogy a korszerű harckocsik – M1 Abrams, Leopard 2A7 és a Challenger II, illetve a Merkava 4 – tömege megközelíti a 70 t-t, ugyanakkor a harckocsinak dinamikusan kell leküzdenie a különböző terepakadályokat a harc során, magas fokú mozgékonyt mutatva. Ez – napjaink harckocsijainak jelentős tömegét figyelembe véve – csak folyamatos teljesítményátadású hidromechanikus kivitelű automata sebességváltó alkalmazásával lehetséges.

1. táblázat: Harckocsiknál alkalmazott sebességváltók fejlődése a motorteljesítmény és a tömeg változásával összefüggésben

Év	Harckocsitípus	Szerk. tömeg (t)	Motor-teljesítmény (kW)	Teljesítmény/tömeg arány (KW/t)	Sebességváltó szerkezete
1939	Pz. II.	9	130	14,44	kézi kapcsolású
1942	Pz. IV.	22	180	8,18	kézi kapcsolású
1944	Pz. V.	45	515	11,44	kézi kapcsolású bolygóműves
1978	Leopard 2A4	55	1103	20,05	hidromechanikus bolygóműves
2010	Leopard 2A7	68	1210	17,8	hidromechanikus bolygóműves

Forrás: Bombay László – Gyarmati József – Turcsányi Károly: Harckocsik 1916-tól napjainkig. Budapest, Zrínyi Kiadó, 1999. 227.

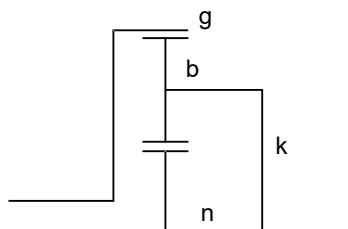
Összességében – a bevezetőben leírtak alapján – a katonai alkalmazói igény és a műszaki fejlődés jelenlegi állása további tág teret enged a hidrodinamikus nyomatékvtáltó és a bolygóműves sebességváltók kombinálásával létrejött automata sebességváltók terjedésének, nemcsak a polgári életben, de a katonai – nagy tömegű harcjárművek terepi – alkalmazásban is. Jelen tanulmány ehhez kötődően ismerteti a Leopard 2 harckocsiban is alkalmazott Wilson-kapcsolást, illetve ennek oktatási célú 3D nyomtatott modelljét.

2. A bolygómű analitikai alapjai

Az egyszerű bolygóműre érvényes az alábbi, úgynevezett Willis-formula:

$$u_{ng} = \frac{\omega_n - \omega_k}{\omega_g - \omega_k} \quad (1)$$

ahol az indexeket az 1. ábra magyarázza és u_{ng} a belső áttétel.



1. ábra: Egyszerű bolygómű

Forrás: a szerzők szerkesztése

Megjegyzés: g = gyűrűkerék; b = bolygókerék; n = napkerék; k = bolygókeréktartó karja

Az (1) Willis-formula kanonikus alakja:

$$\omega_n - u_{ng}\omega_g + (u_{ng} - 1)\omega_k = 0 \quad (2)$$

Az egyszerű bolygómű három fékezetető tengellyel rendelkezik. Az áttételt a három esetben a kanonikus alakból úgy lehet meghatározni, ha a megfelelő helyre nullát helyettesítünk.

Fékezett bolygókeréktartó kar esetén $\omega_k = 0$ amit a (2) egyenletbe behelyettesítve kapjuk:

$$\omega_n - u_{ng}\omega_g = 0 \quad (3)$$

amiből:

$$i_{ng} = \frac{\omega_n}{\omega_g} = u_{ng} \quad (4)$$

Fékezett gyűrűkerék esetén $\omega_g = 0$, amit a (2) egyenletbe behelyettesítve kapjuk:

$$\omega_n + (u_{ng} - 1)\omega_k = 0 \quad (5)$$

amiből:

$$i_{nk} = \frac{\omega_n}{\omega_k} = 1 - u_{ng} \quad (6)$$

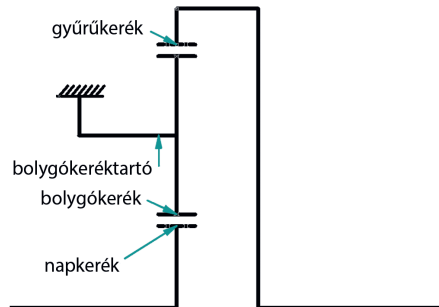
Fékezett napkerék esetén, $\omega_n = 0$ amit a (2) egyenletbe behelyettesítve kapjuk:

$$u_{ng}\omega_g + (u_{ng} - 1)\omega_k = 0 \quad (7)$$

amiből:

$$i_{gk} = \frac{\omega_g}{\omega_k} = \frac{u_{ng}-1}{u_{ng}} \quad (8)$$

A három lehetséges helyzethez tartozó áttételek meghatározásához a (4), (6), (8) képletek szerint csak u_{ng} szükséges. A legelső eset alapján, ahol a bolygókeréktartó karja van fékezve, a bolygómű a 2. ábra szerint ábrázolható.



2. ábra: A KB (külső-belső) típusú bolygómű fékezett bolygókeréktartó karral

Forrás: a szerzők szerkesztése

A 2. ábra szerint a bolygómozgás a bolygókeréktartó kar fékezése miatt megszűnik, ezért az áttétele hagyományos homlokkerekes hajtás szerint számítható:

$$i_{ng} = u_{ng} = \frac{\omega_n}{\omega_g} = -\frac{z_g}{z_b} \frac{z_b}{z_n} = -\frac{z_g}{z_n} \quad (9)$$

Az eredményt u_o jelöléssel a KB típusú bolygómű belső áttételének nevezzük, amely alapján a többi áttétel számítható. A levezetéseket nem részletezve:

$$i_{ng} = u_{ng} = u_o = -\frac{z_g}{z_n} \quad (10)$$

$$i_{nk} = 1 - u_{ng} = 1 - u_o = \frac{z_n + z_k}{z_n} \quad (11)$$

$$i_{gk} = \frac{u_{ng} - 1}{u_{ng}} = \frac{u_o - 1}{u_o} = \frac{z_g + z_k}{z_g} \quad (12)$$

3. A bolygómű szabadságfoka

Az egyszerű bolygómű két szabadságfokkal rendelkezik. Amennyiben a három tengely közül az egyik fékezett, akkor a rendszer egy szabadságfokú lesz, és a maradék kettő tengely alkalmassá válik teljesítmény-, illetve nyomatéktovábbításra mindkét irányban.⁶

A szabadságfok számítása:

$$s = 3(n - 1) - 2p_s - p_1 \quad (13)$$

ahol: n : fogaskerek száma; p_2 : két kötöttségű kinematikai párok száma (csapágycsukások); p_1 : egy kötöttségű kinematikai párok száma (fog érintkezés).

Egyszerű bolygómű esetében:

$$s = 3(5 - 1) - 2 \cdot 4 - 1 \cdot 2 = 2$$

Az egyszerű bolygómű szabadságfoka tehát kettő, a teljesítmény, illetve a nyomaték továbbítható abban az esetben, ha eggyel csökkentjük a szabadságfokok számát, ez megoldható úgy, hogy egy szabadon kiválasztott tengelyt fékezzünk.

A teljesítmény és nyomaték továbbítása lehetséges a szabadságfok csökkentése nélkül. Ennek kettő megoldása van:

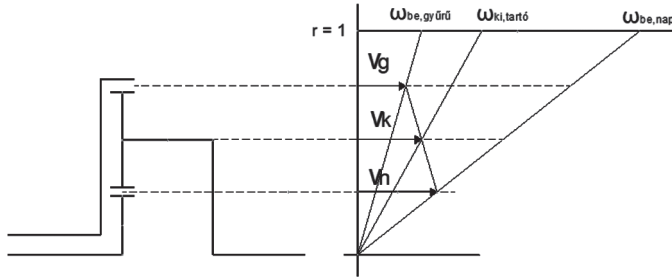
- kettős behajtású és
- kettős kihajtású rendszerek.

Kettős kihajtásra jó példa a differenciálmű, amely kúpogaskerekéből, illetve hengeres fogaskerekéből is összeállítható. Hengeres elrendezésnél a kihajtás a napkeréken és a gyűrűkeréken keresztül történik, a hajtó a bolygókeréktartó. Kúpkerékes megoldásnál a hajtó a differenciálház, amely a tartó szerepét tölti be, a hajtott kerek a rózsakerek, amelyek a napkerék, illetve gyűrűkerék szerepét töltik be.

⁶ Lévai Zoltán: *Gépjárművek szerkezetana*. Budapest, Tankönyvkiadó, 1978. 432.

Kettős behajtás lehet a napkeréken és a gyűrűkeréken, mint hajtókerekeken keresztül, a hajtott pedig a bolygókeréktartó. A 2. ábrán jól látható, hogy a napkerék állandó kerületi sebessége mellett, a gyűrűkerék kerületi sebességének a növelésével, hogyan nő a bolygókeréktartó kerületi sebessége és ebből adódóan a kimenő szögsebesség.

Kettő szabadságfokkal rendelkező bolygóművet mutat a 3. ábra.



3. ábra: Egyszerű KB típusú bolygómű hajtott nap- és gyűrűkerékkel

Forrás: a szerzők szerkesztése

Kettős behajtású bolygómű esetében, ahol a hajtó a nap- és a gyűrűkerék, és a hajtott a bolygókerék karjának kerületi sebessége, a 3. ábra szerinti Kutzbach-szerkesztésből láthatóan

$$v_k = \frac{v_g + v_n}{2} \quad \text{és} \quad r_k = \frac{r_g + r_n}{2}. \quad (14)$$

A hajtó kerületi sebességeket kifejezve a fordulatszámából és a sugárból:

$$v_k = \frac{v_g + v_n}{2} = \frac{2\pi n_g r_g + 2\pi n_n r_n}{2} = \pi(n_g r_g + n_n r_n). \quad (15)$$

A kar kerületi sebessége és sugara ismeretében a fordulatszám már meghatározható:

$$n_k = \frac{v_k}{2\pi r_k} = \frac{\pi(n_g r_g + n_n r_n)}{2\pi} \frac{2}{r_g + r_n} = \frac{n_g r_g + n_n r_n}{r_n + r_g} = \frac{n_g r_g}{r_n + r_g} + \frac{n_n r_n}{r_n + r_g}. \quad (16)$$

A két számlálót és nevezőt osztva rendre r_g -vel és r_n -nel:

$$n_k = n_g \frac{1}{\frac{r_n}{r_g} + 1} + n_n \frac{1}{\frac{r_g}{r_n} + 1} = n_g \frac{i}{i+1} + n_n \frac{1}{i+1} \quad (17)$$

ahol:

$$i = \frac{r_g}{r_n} = \frac{z_g}{z_n}. \quad (18)$$

A gyűrűkerék meghajtásáról legegyszerűbb egy másik bolygómű beépítésével gondoskodni. A 4. ábrán kapcsolt bolygóművekből álló hajtómű látható, ahol a „2” jelzésű bolygómű bolygókeréktartója az „1” jelzésű bolygómű gyűrűkerékével van összekapcsolva. A szerkesztés az F2 fék zárt és az F1 fék nyitott helyzetét ábrázolja. A szerkesztés menete az ábrán látható. A bolygóműves hajtómű az F2 nyitásával és F1 zárásával kikapcsolja a „2” jelzésű bolygóművet, és csak az „1” jelzésű bolygómű áttétele érvényesül.

4. Wilson-sebességváltóművek

Egyszerű bolygómu esetében kar fordulatszáma a (17) szerint az

$$n_k = n_3 \frac{i_0}{i_0+1} + n_1 \frac{1}{i_0+1} \tag{19}$$

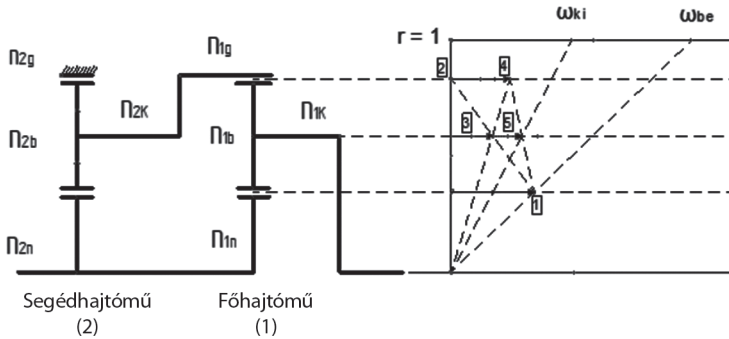
összefüggés alapján számítható.

Kapcsolt bolygómuvek esetében, ahol a segédhajtómű bolygókeréktartója hajtja meg a főhajtómű gyűrűkerékét a karok fordulatszáma az alábbiak szerint számítható:

$$n_{2k} = n_{2g} \frac{i_{2,0}}{i_{2,0}+1} + n_{2n} \frac{1}{i_{2,0}+1} \tag{20}$$

$$n_{1k} = n_{1g} \frac{i_{1,0}}{i_{1,0}+1} + n_{1n} \frac{1}{i_{1,0}+1} \tag{21}$$

A jelöléseket a 4. ábra magyarázza:



4. ábra: Segédhajtóművel meghajtott gyűrűkerék és a kimenő szögsebesség szerkesztése

Forrás: a szerzők szerkesztése

A fő- és segédhajtómű fogaskerekei méretét azonosnak véve – ez a hidromechanikus automata sebességváltó esetében gyakori megoldás –, és a segédhajtómű gyűrűkerékét befékezve a hajtott bolygókeréktartó kar fordulatszáma a következőként írható fel:

$$n_{2k} = n_{1n} \frac{1}{i_{1,0}+1} \tag{22}$$

$$n_{1k} = n_{1g} \frac{i_{1,0}}{i_{1,0}+1} + n_{1n} \frac{1}{i_{1,0}+1}. \tag{23}$$

A segédhajtómű karja meghajtja a főhajtómű gyűrűkerékét, vagyis

$$n_{2k} = n_{1g},$$

A fő- és a segédhajtómű fogaskerekeinek az azonos méretei miatt

$$i_{1,0} = i_{2,0} = \frac{z_{2g}}{z_{2n}} = \frac{z_{1g}}{z_{1n}} = i_0. \quad (24)$$

A hajtó tengely közvetlenül hajtja meg a két napkereket:

$$n_{2n} = n_{1n},$$

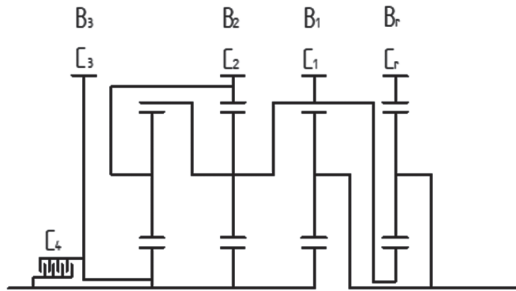
a behelyettesítést elvégezve a hajtott kar fordulatszáma:

$$n_{1k} = \left(n_{1n} \frac{1}{i_0+1} \right) \frac{i_0}{i_0+1} + n_{1n} \frac{1}{i_0+1}, \quad (25)$$

Az egyszerűsítések elvégzését követően:

$$n_{1k} = n_1 \frac{2i_0+1}{(i_0+1)^2} \quad (26)$$

A (26) képlet szerint a 4. ábra szerinti kapcsolású bolygóműves sebességváltó esetében a hajtott fordulatszám (n_{1k}) lineárisan arányos a hajtó fordulatszámmal (n_1). A hajtás a (26) szerint lassító.

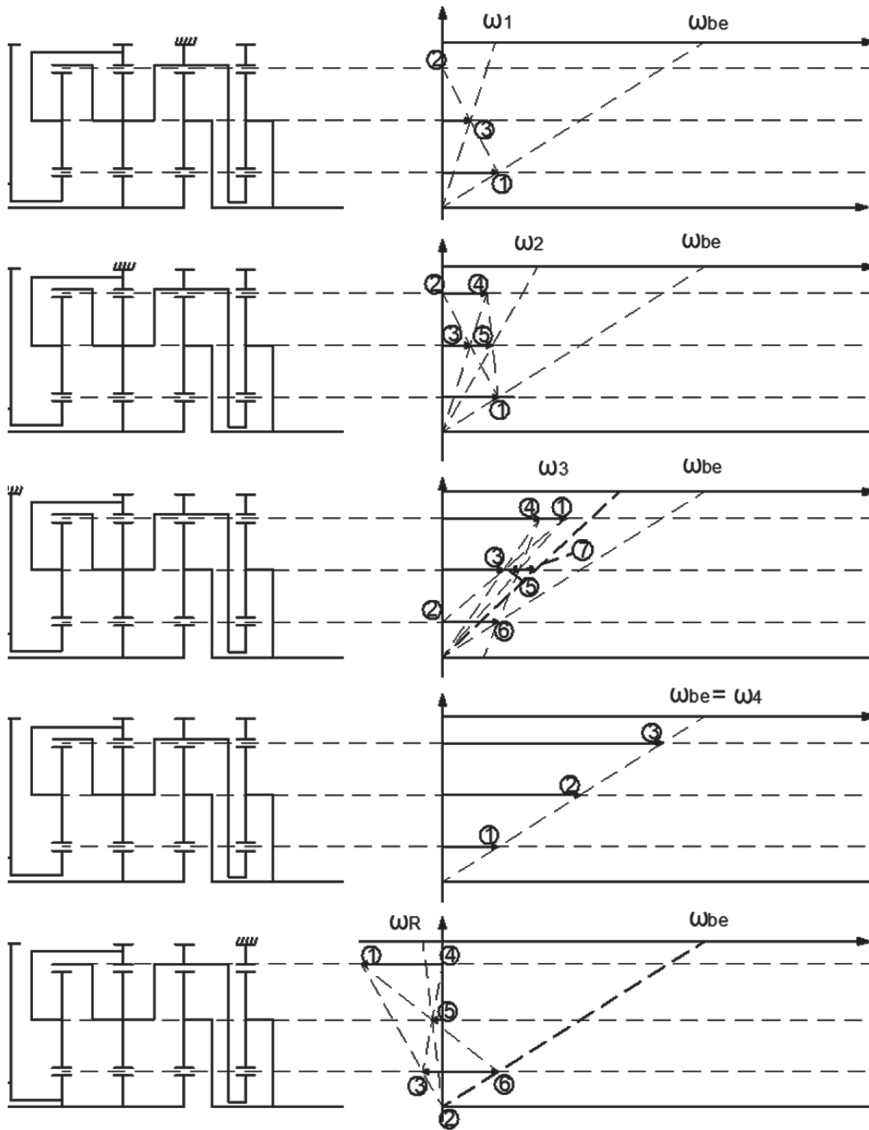


5. ábra: Wilson-sebességváltó

Forrás: a szerzők szerkesztése

Megjegyzés: B_i : i -edik bolygómű; C_i : i -edik tengelykapcsoló

A kapcsolási elvet felhasználva kettő olyan bolygóműves sebességváltót mutatunk be, amelyet már automata sebességváltó mechanikus részeként felhasználnak. Egy Wilson-váltót mutat az 5. ábra. A sebességváltó négy előremeneti fokozattal és egy hátrameneti fokozattal rendelkezik.



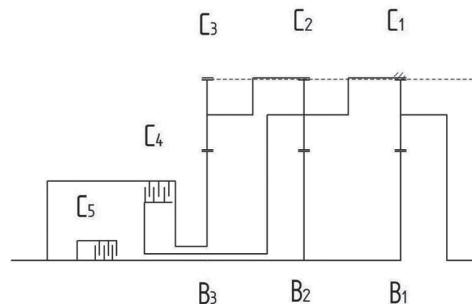
6. ábra: Wilson-váltó Kutzbach-szerkesztése
 Forrás: a szerzők szerkesztése

A 6. ábra mind az öt kapcsolás grafikus analizisét tartalmazza. Első fokozat kapcsolásakor a C₁ fék van behúzva, ebben az esetben az 5. ábra szerint csak B₁ jelű bolygómű működik, a hajtott tengely szögsebessége szerkesztésének a menete a 6. ábrán jól látható.

A második sebességi fokozat a C_2 fék bekapcsolásával jön létre. A teljesítménytöbblettel a kettős behajtású bolygóműveknél tárgyalta szerint történik. A szerkesztés első lépéseként a B_2 jelű bolygómű karjának a kerületi sebességét kell szerkeszteni. A hajtó és a fékezett fordulatszámok alapján meghatározható B_2 karjának a kerületi sebessége. A B_1 jelű bolygóműnek így adott lesz mindkét hajtó kerületi sebessége, amiből a hajtott kar és ebből a ω_{ki} már szerkeszthető.

A harmadik sebességi fokozat a C_3 fék kapcsolásával történik, ebben az esetben a B_1 a B_2 és a B_3 jelű bolygóművek vannak bekapcsolva. A C_3 fék a B_3 bolygómű napkerekeit rögzíti, de a szerkesztést nem lehet elkezdni a hajtó oldalon, mivel a hajtótengely által meghajtott bolygókerékhez tartozó gyűrűkerék kerületi sebessége nem ismert. A szerkesztés első lépéseként a B_3 gyűrűkeréknek a kerületi sebességét kell felvenni szabadon ①. Felhasználva, hogy a B_3 napkereke fékezett ②. A B_3 bolygómű bolygókeréke segítségével a kar sebessége szerkeszthető ③, ami megadja a B_2 gyűrűkeréknek a kerületi sebességét is ④. A B_3 bolygómű gyűrűkeréke a B_2 jelű bolygómű karjához van kötve, ezért a középpontból a B_3 gyűrűkerék vektorához húzott vonal kimetszi a B_2 kar sebességvektorát ⑤. A B_2 jelű bolygómű bolygókerékének már két kerületi sebessége is megvan, ezek segítségével szerkeszthető a hajtó kerületi sebesség ⑥. A rajz alapján B_3 és B_1 gyűrűkeréke azonos kerületi sebességű, amiből a hajtott kerületi sebesség és szögsebesség már szerkeszthető.

A negyedik sebességi fokozat a C_4 tengelykapcsoló bekapcsolásával a bolygóművek rövidzárásával történik. A hátrameneti fokozatnál a C_R fék van bekapcsolva. A teljesítménytöbblettel a B_R és a B_1 jelű bolygómű vesz részt. A szerkesztés itt sem kezdhető a hajtótengely ismertnek feltételezett fordulatszáma alapján. Első lépésként a B_1 jelű bolygómű gyűrűkerékéhez tartozó kerületi sebesség van szabadon felvéve ①. A kar a központi tengely körül forog ②, ahol a két pont összekötése adja a hátrameneti napkerék kerületi sebességét ③. A hátrameneti bolygómű gyűrűkeréke fékezve van ④, ezért ennek a bolygókeréknek kettő sebességvektora ismert, amelyek végpontjai összekötése kimetszi a hajtott kar kerületi sebességét ⑤. A vektor végpontját összekötve a középponttal az $r = 1$ egyenesen a vonal kimetszi a kimenő ω_R szögsebességet. A hajtott tengely meghajtja a B_1 kart is, a B_1 bolygókerék két adata így adott, amiből a harmadik, vagyis a hajtó kerületi sebesség és szögsebesség már szerkeszthető ⑥.

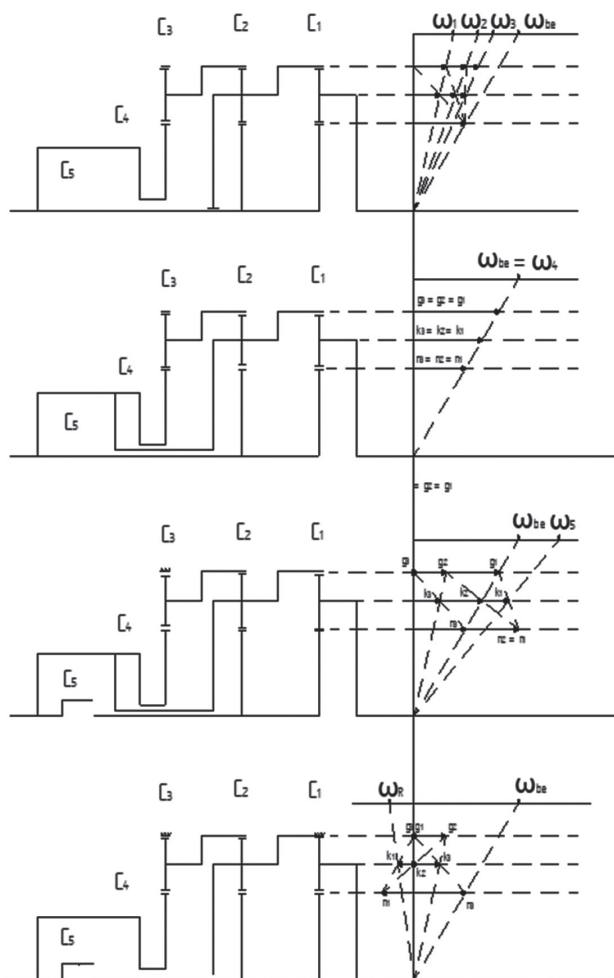


7. ábra: Bolygóműves sebességváltó

Forrás: a szerzők szerkesztése

Megjegyzés: B_i : i -edik bolygómű; C_i : i -edik tengelykapcsoló

A 7. ábra öt előremeneti és egy hátrameneti fokozattal ellátott többkaros bolygóműves sebességváltóművet mutat, amelynek második és harmadik sebességi fokozata a Wilson-váltónál látható módon kettős behajtással van megoldva.



8. ábra: A sebességi fokozatok kapcsolása

Forrás: a szerzők szerkesztése

A sebességi fokozatok kapcsolása és azok szerkesztése a 8. ábra alapján nyomon követhető.

5. Összegzés és következtetések

Napjainkra a hidromechanikus kivitelű automata sebességváltók széles körben elterjedtek, nemcsak a polgári életben, de a katonai alkalmazásban is. Jelen tanulmány az automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – elsősorban a Wilson-váltó – elemzésére vállalkozott. A tanulmány feltárta és bemutatta az automata sebességváltók bolygóműveivel kapcsolatos összefüggéseket.⁷ A Wilson-kapcsolást a Leopard 2 harckocsi sebességváltójában is alkalmazzák. Általános tendencia a NATO által alkalmazott harc- és gépjárműveknél, hogy egyre elterjedtebben alkalmaznak automata sebességváltókat, így a Magyar Honvédség haditechnikai eszközei között is egyre növekvő számban jelennek meg ilyen sebességváltóval felszerelt típusok. A Magyar Honvédség 44 db Leopard 2A7HU harckocsi beszerzésére kötött szerződést a KMW (Krauss-Maffei Wegmann) vállalattal a Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében. Az NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék elkészítette egy Wilson-rendszerű bolygóműves sebességváltó oktatási célú 3D nyomtatott modelljét annak érdekében, hogy a katonai felsőoktatásban hasznosíthassa (9. ábra).



9. ábra: Az NKE HHK Haditechnikai Tanszéken 3D nyomtatott oktatási célú sebességváltó-modell

Forrás: Dr. Gyarmati József fényképfelvétele

Összességében megállapítható, hogy az automata sebességváltók harcjárműveken való alkalmazásának előnyei, hogy azok:

- a nagy tömegű (55–70 t), nagy teljesítményű motorokkal (1000–1300 kW) felszerelt harcjárművek hajtásláncában adódó nagyobb terhelés elviselésére képesek;
- a harckocsivezető leterheltségét csökkentik;
- lehetségessé vált a folyamatos teljesítménytöbblet, a terhelés alatt kapcsolás, és hogy a kapcsolás közben is továbbítják a motor teljesítményének egy részét;

⁷ Terplán Zénó: *Fogaskerék-bolygóművek*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1979; illetve Zsáry Árpád: *Gépelemek I.* Budapest, Tankönyvkiadó, 2003.

- a hidrodinamikus nyomatékvtó miatt kialakuló dinamikus terhelések a teljes jármű-hajtáslángra kiterjedően csökkennek;
- alkalmazásával megvalósítható akár több hátrameneti fokozat is, amely jelentős harcászati képesség-növekedést jelent a harcjárművek esetében.
- alkalmazásával a kapcsolás közben nem lassul le, illetve nem áll meg a harcjármű.

A bolygóművek vizsgálata, tanulmányozása, illetve különösen oktatása során igen hasznosnak bizonyult a Kutzbach-szerkesztés alkalmazása.⁸ Oktatásmódszertani szempontból – az általános célú elemi bolygómű modellek mellett – hasznosnak bizonyultak a 3D nyomtatással előállított oktatási célú sebességváltó-modellek is.

A TKP2021-NVA-16 számú project az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatással, a Tématerületi Kiválósági Program 2021 TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Felhasznált irodalom

Lastschaltgetriebe HSWL 354 <https://www.renk-group.com/de/produkte-service/produkte/fahrzeugantriebe/fahrzeuggetriebe/hswl-354/>

HSWL 354 <http://www.army-guide.com/eng/product377.html>

Lévai Zoltán: *Gépjárművek szerkezetana*. Budapest, Tankönyvkiadó, 1978.

Zsáry Árpád: *Gépelemek I.* Budapest, Tankönyvkiadó, 2003.

Terplán Zénó: *Fogaskerék-bolygóművek*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1979.

Bombay László – Gyarmati József – Turcsányi Károly: *Harckocsik 1916-tól napjainkig*. Budapest, Zrínyi, 1999.

⁸ Gépjárművek erőátvitel. Lásd: www.lezo.hu/szerkezettan/hajtas/eroatvitel/eroatvitel.html