

Gyarmati József,<sup>1</sup>  Hegedűs Ernő<sup>2</sup> 

# Lánctalpas harcjárművek kormányzása

*(Kanyarodási elv szerinti csoportosítás, ívmenet során adódó sebességviszonyok és a meghajtó kerekekre ható erők)*

## Steering of Tracked Combat Vehicles

*(Grouping by Cornering Principle, Speed Conditions during Cornering and Forces on the Driving Wheels)*

*A lánctalpas harcjárművek harcászati tulajdonságait döntő mértékben befolyásolhatja a megfelelő konstrukciójú kormányzási megoldás megválasztása és alkalmazása. A tanulmány a lánctalpas harcjárművek kormányzásakor fellépő sebesség-, erő- és teljesítményviszonyokat vizsgálja.*

**Kulcsszavak:** lánctalpas harcjármű, kormányzás, kormánygép, ívmenet, helyben fordulás, hidrosztatikus-hidrodinamikus rendszer

*The choice and application of a steering solution with the right design can have a decisive influence on the combat characteristics of tracked combat vehicles. This study investigates the speed, power and performance relationships in the steering of tracked combat vehicles.*

**Keywords:** tracked combat vehicle, steering, steering apparatus, turning, turning in place, hydrostatic-hydrodynamic system

<sup>1</sup> Egyetemi docens, Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai tanszék, e-mail: [Gyarmati.Jozsef@uni-nke.hu](mailto:Gyarmati.Jozsef@uni-nke.hu)

<sup>2</sup> Egyetemi docens, Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai tanszék, e-mail: [Hegedus.Erno@uni-nke.hu](mailto:Hegedus.Erno@uni-nke.hu)

## Bevezetés

A harckocsi, illetve tágabb értelemben a lánctalpas harcjármű három legfontosabb paramétercsoportja a tűzerőhöz, a védettséghez, illetve a mozgékonyasághoz kötődik. A mozgékonyaság fogalomkörén belül fontos szerephez jut a lánctalpas harcjármű kormányozhatósága. A lánctalpas harcjárművek kormányrendszereinek az egyenes meneten túlmenően biztosítaniuk kell a precíz és konkrét ívmenetet (kanyarodást) a jármű lassulása nélkül, illetve a sarkon fordulást és lehetőleg a helyben fordulást, továbbá a (lehetőleg minél nagyobb sebességű) hátramenet alatti kormányzást is. Emellett a korszerű harckocsiban működő kormánygépek magas fejlettségű automata sebességváltóval kell együttműködniük. A lánctalpas harcjárművek harcászati tulajdonságait döntő mértékben befolyásolhatja a megfelelő konstrukciójú kormányzási megoldás megválasztása és alkalmazása.

A lánctalpas harcjárművek, köztük a harckocsik, gyalogsági harcjárművek általában úgy *kanyarodnak* (ívmenet), hogy a lánctalpakat különböző sebességgel (meghajtólánckerékfordulatszámmal) hajtják meg, és a fordulatszám-különbség hatására a kisebb sebességgel haladó lánctalp felőli oldal irányába fordul el az eszköz. Más megfogalmazással: a láncok kétoldali sebességkülönbsége a harckocsira fordítóhatást kényszeríti a talaj ellenállásával szemben. Kanyarodáskor a lánctalp legördülő mozgása mellett hossz tengelye körüli fordulómozgást is végez. (A lánctalp szerkezete rendszerint nem engedi meg annak ívbefektetését.) *A lánctalpas eszközök kormányműveinek rendeltetése ennek alapján az, hogy a kívánt kanyarodási sugárnak megfelelően a lánctalpak sebességét különbözővé tegye.*

A lánctalpas harcjármű kormányzását olyan *szerkezeti elemek* biztosítják, mint a differenciálművek, bolygóművek, fékszerkezetek, hidraulikus hajtások, amelyeket gyűjtőneveükön kormánygépeknek nevezünk. A kormányzásban jelentős szerephez jutnak a bolygóművek, amelyeknek elemei egyes kormánygép-konstrukciónál fékezhetők, más konstrukciónál teljesítmény bevitelére alkalmasak. (A bolygóművek működéséről, lehetséges meghajtási és fékezési viszonyairól, illetve ezek harcjármű-sebességváltókban történő alkalmazásáról célszerű áttekinteni korábbi publikációnkat.)<sup>3</sup>

A *kormánygép* a kormány szerv minden lehetséges helyzetéhez kapcsolódóan biztosítja a konkrét fordulási sugarat, a harckocsi helyben (vagy sarkon) történő elfordulását, stabil vonalvezetést kanyarodáskor és egyenes irányú mozgáskor, összességében pedig biztosítja a hatékony kormányzást. Figyelembe véve azt, hogy a differenciálmű is egyfajta bolygómű, megállapítható, hogy lényegét tekintve a kormánygép két szerkezeti (gép-) csoportra bontható: egyfelől bolygómű(ve)k, másfelől a bolygómű működési viszonyait befolyásoló rendszerekre. Utóbbiak lehetnek: fékezés elvű kormányzásnál fékszalagok, féktárcsák, illetve regeneratív kormánymánél kormánytengelyek (semleges tengely), továbbá különféle hidraulikák (hidraulikus tengelykapcsolók, hidromotorok és hidraulikaszivattyúk).

A kormányzási módok, *kormánygép-konstrukciók fejlődése* a harckocsi 1916-os megjelenése óta jelentős ívet futott be. Az egyszerűbb, mechanikus, fékezésen alapuló kormányzási módoknál a fordulás megvalósítása teljesítményvesztéssel és a jármű lassulásával, míg

<sup>3</sup> GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022: 113.

oldalváltó alkalmazásakor pontatlan kormányzással jár. Azonban a fejlettebb konstrukciójú kormánygépek a meghajtást biztosító teljesítményt az egyik lánctalpról a másikra képesek regeneratív elven közvetíteni a kormányzás megvalósítása során, így nem történik sebességcsökkenés. Az oldalváltós kormánymű-konstrukció esetében az ívmeneten haladó harcjármű sebességcsökkenése mellett nagyobb gyakorlatot igényel annak kezelése, vezetése, mivel a kanyarodásra csak szakaszosan képes ez a kormányzási mód, amely jelentősebb sebességű hátramenet megvalósítására sem képes.<sup>4</sup> (Ezt ellensúlyozza, hogy egyszerű a szerkezeti kialakítása, ami lényegében két bolygóműcsoporttal – az oldalváltókkal – megoldja a sebességváltó, a kormánymű és az üzemi fék feladatait, mindezt tengelykapcsoló nélkül.) Az erőátviteli és a kormányberendezések terén a fejlődés útja ezért a mechanikustól a hidromechanikuson keresztül a hidrodinamikus felé mutat.<sup>5</sup> A Leopard 2 harckocsi kormányműve például hidrosztatikus-hidrodinamikus rendszerű (hidrodinamikus tengelykapcsolót és dugattyús hidraulikaszivattyú-hidromotor egységet is tartalmazó rendszer).<sup>6</sup> A fejlett hidrosztatikus-hidrodinamikus rendszerekkel felszerelt kormánygépek precíz és konkrét kormányzást tesznek lehetővé csekély kezelői leterheltség mellett.<sup>7</sup> A fejlett kormánygépek rendszerint olyan automata sebességváltókkal vannak összeépítve és működnek együtt, amelyek nagysebességű hátramenet megvalósítására képesek, illetve – a sebességváltó bolygóművein túlmenően – tartalmaznak jelentős nyomaték módosítás megvalósítására alkalmas hidrodinamikus nyomaték-váltóelemet is. A kormánygépek konstrukciója tehát 1916-tól napjainkig jóval bonyolultabbá vált: a semleges tengely (kormánytengely) mellett megjelentek a hidrosztatikus, illetve hidrosztatikus-hidrodinamikus rendszer elemek is a kormánygépben, amely immár élesen elkülönül a sebességváltó rendszereitől. A korszerű harckocsi kormányműve olyan kormánygép, amely *gépi motoros kormánymű*. Ugyanis „a lánctalpas járművek kormányművei a rendkívül nagy fordulási teljesítmény miatt *gépi-motoros kormányművek*. Forduláskor a motort működtetni kell. Nehéz, 35–50 tonnás járművek forduláshoz gyakran a motor maximális teljesítménye szükséges”.<sup>8</sup> A kormánygép működtetése tehát önálló bevitt motorteljesítményre épül. A Leopard 2 kormánygépén például jelentős teljesítményhányad halad át a sarkon fordulás megvalósításakor, még hozzá hidraulikus teljesítményátadással.<sup>9</sup> A hidrosztatikus, illetve hidrosztatikus-hidrodinamikus elemekkel kiegészített önálló kormánygép bonyolult ugyan, de – az oldalváltós kormányzással ellentétben – folyamatos, precíz és konkrét kormányzást tesz lehetővé.

A *kormányozhatóság* területén jelentős különbségek adódnak az egyes lánctalpas harcjárműtípusok között, mivel egyes kormányzási módok lehetővé teszik például a helyben fordulást, míg mások csak a sarkon fordulást. (Sarkon forduláskor a harckocsi az egyik befékezve álló lánctalpa középpontját a másik lánctalpával körülfárja.)

<sup>4</sup> Kiss 1998: 50–51.

<sup>5</sup> TYTLER et al. 1985: 98.

<sup>6</sup> Kiss 1998: 20–21.

<sup>7</sup> OGORKIEWICZ 1991: 274–295.

<sup>8</sup> POLINSZKY 1972: 803.

<sup>9</sup> MERHOF–HACKBARTH 2015.

„Lánctalpas járművek fordulásmódjai: a) *sarkonfordulás*, amikor a külső oldali lánckereket a motor hajtja, a belső oldali láncot fékezik. A fordulási sugár elméletileg a lánctalpak nyomtávjának a fele. [...] b) *Ívmenet*, amelyben a fordulási sugár egyenlő vagy nagyobb a nyomtávnál. A kívánt fordulási sugarat a kormánymű a kétoldali lánckerék áttételének különbségével hozza létre.”<sup>10</sup>

Eltérők az egyes kormánygép-konstrukciók által megvalósított kormányzási pontosságok is: egyes konstrukciók szakaszos fordulást tesznek lehetővé, míg más kormánygép-konstrukciók biztosítják a precíz ívmenetek megvalósítását. Két fordulósugárral rendelkezik a kettős differenciálműű kormányrendszerrel felszerelt harckocsitípus, például a Leopard 1.

A lánctalpas harcjármű kanyarodása történhet a belső lánctalp lassításával, a harcjármű fékezéssel csökkent ívmeneti sebességét eredményezve, *tengelykapcsoló-fékes kormánymű* megoldással (például T-34). Esetében a külső lánc sebessége kanyarodáskor állandó, a páncélozott harcjármű sebessége pedig a kanyarodás sugarával csökken. A fékezéssel létesített sebességkülönbség tengelykapcsoló beépítését teszi szükségessé. A másik, *differenciálműves kormánymű* megoldással sebességáthelyeződés történik a külső-belső lánctalpak között. Ezzel a páncélozott harcjármű sebessége a fordulási sugártól függetlenül állandó. Azonban a belső oldali lánchajtókerék fékezéssel történő lassítása arányában a külső lánc nagyobb sebességű, amivel a hajtónyomatéka csökken. Ezt a változatlan járműsebesség megtartása érdekében a járművezetőnek gázadással kell ellensúlyozni. Ezeket a hátrányokat küszöböli ki a kiegészítő sebességváltót tartalmazó *ívmeneti kormányszerkezet* alkalmazása. Működésével biztosított a mindenkori ívmeneti vonóerő-többlet szolgáltatása, kisebb sebesség mellett. Az ívmeneti kormányberendezés szükségessége magasabb sebességfokozatú forduláskor jelentkezik. Ívmeneti kormányval ellátott páncélozott harcjármű a hajtóműáttételének megfelelően, állandó sugáron, változatlan sebességgel tud fordulni, ekkor nincs veszteségi teljesítmény. Ezért a rendszert *regeneratívnak* nevezik. (A regeneratív kormánymű eredetileg a Churchill, majd a Tigris harckocsikon jelent meg először. Lényege, hogy az ívmenet során a belső ív láncmeghajtókerékének úgynevezett meddő teljesítményét a külső lánctalpnak adja át a kormánygép.)

A kormánygép, a *kormánymű a kormányzáson kívül más feladatok elvégzésére is* alkalmas lehet: a kormánymű – felépítésétől és működési elvétől függően – tartalmazhatja az üzemi féket, részben vagy teljes egészben átveheti a nyomatékváltó szerepét (például a T-72, T-80, T-90 harckocsi 7+1 fokozatú oldalváltója), illetve feleslegessé teheti a főtengelekcsatlósó beépítését az erőátviteli láncban. Tehát a keleti (szovjet-orosz, kínai) harckocsiknál nem alkalmaznak a Leopard 2 vagy az M1 Abrams típusoknál megszokott hidrodinamikus-bolygómvűves sebességváltót, mivel ennek feladatát a két – kormányzáshoz használt – oldalváltó végzi el. Ugyanakkor nagyobb gyakorlatot igényel az oldalváltós kormányzás kezelése és vezetése is,

<sup>10</sup> POLINSZKY 1972: 802.

mivel a fordulási sugár instabil.<sup>11</sup> (Illetve kimarad a mintegy 2–5-szörös nyomaték módosításra alkalmas hidrodinamikus elem is, ami csökkenti a keleti típusok relatív mozgékonyágát.) Tehát a kormánygép konstrukcióját – rendszerszemléletű megközelítést alkalmazva – az automata váltóval összefüggésben célszerű vizsgálni.

A *kezelőszerveit* tekintve botkormányval, vagy kormánykarral, esetleg kormánykerékkel működtetett kormánygép a kormány szerv minden lehetséges helyzetéhez kapcsolódóan biztosítja a kormányzást. (Például a német Tigris és a magyar Toldi harckocsiban hagyományos kormánykerék volt.) A sebességváltóhoz hasonlóan a kormányzás kezelőszerveinek működtetésekor is hangsúlyos a kis működtetési erő, az ergonómia és végső soron a kezelőszemélyzet kifáradásának, túlterhelésének elkerülése. Ez nem kényelmi szempont, hanem a harc megfelelő szintű megvívásának előfeltétele. Ennek következtében a kormánygépek fejlődésének fontos eleme az olyan működtetési erőt csökkentő járműfedélzeti energiarendszerek alkalmazása, mint a pneumatika, a hidraulika (vagy az elektromechanikus mozgatók).

A *harcjármű szerkezeti tömege* jelentősen befolyásolja a megfelelő kormánygép-konstrukció megválasztását. Jelentősen eltérő konstrukciójú kormánygépeket alkalmaznak egy könnyű harckocsinál (8–16 tonna), illetve napjaink alapharckocsijainál (MBT-Main Battle Tank 50–70 tonna). Példaként: a T-34 harckocsinál a vezető a harckocsit a tengelykapcsoló-fék rendszerrel kormányozta, két botkormány, egy sebességváltó, kézi vezérlésű tengelykapcsoló és lábfejk segítségével. Ilyen megoldás alkalmazása azonban 30 tonna szerkezeti tömeg felett már nem optimális. Könnyű, légi szállítható harcjárműveknél azonban előfordulhatnak egyszerűsített, illetve a szokványostól eltérő kormányzási megoldások, amelyekből kettőt – a lánccelfordításán, illetve a csuklós járműszerkezeten alapuló kormányzást – tanulmányunk is bemutat.

## Kanyarodási elv szerinti csoportosítás

A lánctalpas járművek esetében három kanyarodási modell jöhet szóba:

- a) az oldalanként több tagból álló lánccelfordítása,
- b) a láncc hajlítása és a
- c) belső és a külső íven forduló láncc sebességének változtatása.

Az a) eset csak kis tömegű járművek esetében alkalmazható. Szerkezeti kialakítás szerint két lehetséges megoldás létezik:

- a) Ackermann-kormányzás,
- b) csuklós kialakítású alváz.

Az Ackermann-kormányzásra példa a láncc tagokkal szerelt, ATV 1/a ábra. A kanyarodáskor fellépő jelentős erők miatt csak kis tömegű járműveknél használható.

<sup>11</sup> Kiss 1998: 50–51.



ATV lánctalpakkal

Tetrarch harckocsi

Häglund Bv 206

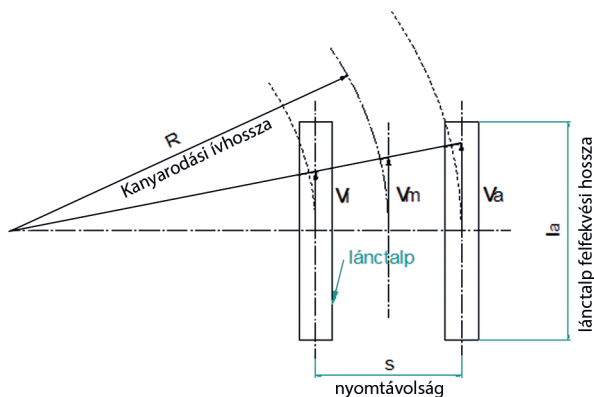
1. ábra: Lánctalpas járművek kormányzási megoldásai

Forrás: Wikimedia Commons

Nagyon speciális megoldás, amikor az első futógörgő elfordításával a lánc görbül kanyarodáskor. Példaképpen lehet említeni a brit Tetrarch harckocsit. A kormányzási megoldás csak nagy ívű kanyarodásra volt alkalmas, 1/b ábra.

Csuklós megoldás esetében az első és a hátsó lánctalpokat egy csuklón keresztül lehet elforgatni. Ezt a megoldást használja a svéd Häglund Bv 206 könnyű deszant harcjármű, amely két különálló járműből áll. Ezeket kormányhidraulika köti össze, amelyek a kormánymozgás során az ívnek megfelelően egymás felé hajlítják a két járművet (1/c ábra).

A lánc elfordításával, illetve hajlításával kormányzó lánctalpas járművek összes megoldásához tartozó tulajdonság, hogy ezek nagy tömegű harcjárművek esetében nem alkalmazhatók, ezért a harcjárművekre jellemző nagy tömeg esetében csak a két oldalon lévő lánc sebességének a változtatásával megoldott kormányzással foglalkozunk. A kormányzás vázlatát a 2. ábra mutatja.



2. ábra: Kormányzás nagy ívsugáron  $R > s/2$

Forrás: a szerzők szerkesztése

Megjegyzés:  $s$ : nyomtávolság;  $R$ : kanyarodási ívsugara;  $l_i$ : a lánc felfekvési hossza;  $v_a$ : a külső íven futó lánc sebessége;  $v_i$ : a belső íven futó lánc sebessége;  $v_m$ : a jármű haladási sebessége

## A kormányzás sebességviszonyai

A sebességviszonyok nagyságát a 2. ábra szerint mutatjuk be. A vizsgálat során a haladási sebesség és a görbületi sugár közötti összefüggéseket állapítjuk meg. A vizsgálathoz bevezetünk egy dimenzió nélküli viszonyszámot, a *kormányzási áttételt*, amely referenciaértékkel szolgál a sebesség mellett a teljesítményviszonyok leírása során különböző ívsugáron történő kanyarodás esetén:

$$i_L = \frac{R}{s/2} \quad (1)$$

ahol:  $R$ : kanyarodási ív sugara;  $s$ : nyomtávolság.

Az  $i_L$  értéke alapján több kanyarodási helyzet különböztethető meg. Amennyiben  $i_L > 1$ , akkor  $R > s/2$  a lánctalpak különböző sebességgel, de azonos irányban forognak. A jármű ennek megfelelően adott ívben kanyarodik. Ha  $i_L = 1$ , akkor az egyik lánctalp áll, mivel a kanyarodási ív hosszúsága megegyezik a nyomtávolság felével  $R = s/2$ . A kanyarodás középpontja ekkor az álló lánctalp középpontjában van. A jármű ebben az esetben „sarkon” fordul. Ha tovább csökken az  $R$  ívhossz, akkor a belső íven lévő lánctalp sebessége ellentétes irányú lesz a külső íven futóéval  $i_L < 1$  és  $R < s/2$ . A kanyarodás speciális esete, ha  $R = 0$ , ekkor a két lánctalp azonos sebességgel, de ellentétes irányban forog. A jármű „helyben” fordul, ennek a megvalósítására viszont nem mindegyik kormánymű alkalmas. A kanyarodási ív hossza ennek megfelelően bármekkora érték lehet. A lánctalp tagokból épül fel, figyelembe véve a lánctalp tagok közötti illesztéseket és a súrlódást, a lánctalp nem tekinthető merev testnek, egy minimálisnál kisebb görbületet nem képes felvenni, ezért létezik egy olyan  $R_K$  természetes görbületi sugár, amelynél nagyobb ívhosszon az adott lánctalpas jármű már nem képes kanyarodni. Ehhez tartozik az úgynevezett *természetes kormányzási áttétel*:

$$i_K = \frac{R_K}{s/2}, \quad (2)$$

amelynek értéke harcjármű típustól függően  $400 < i_K < 500$  lehet. Összefoglalva a fentieket:

$i_K < i_L$  egyenes haladás;

$1 < i_L < i_K$  kanyarodás nagy ívsugáron eltérő nagyságú, de azonos értelmű lánctalpsebességekkel;

$i_L = 1$  kanyarodás álló lánctalp körül, sarkon fordulás;

$0 < i_L < 1$  kanyarodás kis ívben, ellentétes irányú és nagyságú lánctalpsebességekkel;

$i_L = 0$  megfordulás álló helyzetben azonos nagyságú, de ellentétes irányú lánctalpsebességekkel.

A *lánctalpviszony* a jármű a kanyarodást meghatározó két geometriai méretének, vagyis a nyomtávolság és a lánctalp felfekvési hossz hányadosából van definiálva:

$$\lambda = \frac{l_a}{s} \quad (3)$$

ahol  $l_a$  a lánctalp felfekvési hossza és  $s$  a nyomtávolság (2. ábra).

A lánctalpak sebessége nagy ívsugár tartományban  $1 \leq i_L < K; s/2 \leq R < R_K$

A 2. ábra jelöléseivel a jármű haladási sebessége a lánctalpak sebességeiből számtani átlag segítségével történik.

$$v_a = v_m + \Delta v \text{ és } v_i = v_m - \Delta v,$$

amiből:

$$v_m = \frac{v_a + v_i}{2} \quad (4)$$

A 2. ábrán látható hasonló háromszögek miatt a külső íven futó lánc mozgásviszonya felírható:

$$\frac{R}{v_m} = \frac{R + s/2}{v_a}$$

Az egyenletből kifejezve  $v_a$  mennyiséget, és az ellentétes oldalon a számlálót és a nevezőt osztva  $R$ -el, a következőt kapjuk:

$$v_a = v_m \left( 1 + \frac{s/2}{R} \right) = v_m \left( 1 + \frac{1}{i_L} \right) \quad (5)$$

Ugyanez elvégezve a belső ívre

$$\frac{R}{v_m} = \frac{R - s/2}{v_i}$$

Az (5)-höz hasonló átalakításokkal:

$$v_i = v_m \left( 1 - \frac{s/2}{R} \right) = v_m \left( 1 - \frac{1}{i_L} \right) \quad (6)$$

A lánccsebességeket egymásból kivonva kapjuk:

$$v_a - v_i = v_m \left( \frac{1}{i_L} + \frac{1}{i_L} \right) = \frac{2 v_m}{i_L} \quad (7)$$

Felhasználva a (4) egyenletet és a (7) egyenletből kifejezve  $i_L$  értéket kapjuk:

$$i_L = \frac{2 v_m}{v_a - v_i} = \frac{v_a + v_i}{v_a - v_i} \quad (8)$$

Mivel a fordulatszámok és a sebességek arányosak egymással, ugyanez vonatkozik a lánchajtó kerekek fordulatszámára is:

$$i_L = \frac{n_a + n_i}{n_a - n_i} \quad (9)$$

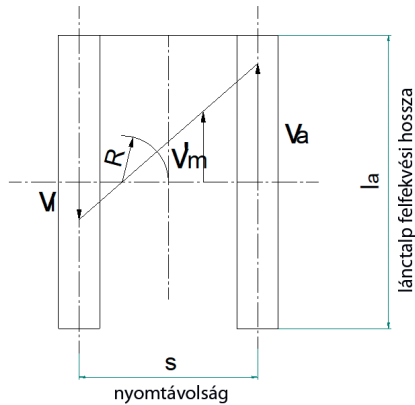
Az össze függésekből látható, hogy adott kormányzási áttételhez, valamint kanyarodási ívsugárhoz adott hajtókerék-fordulatszámok tartoznak.



A lánctalpak sebessége kis ívsugártartományban  $0 \leq i_L < 1$ ;  $0 \leq R < s/2$

Ebben az ívsugártartományban a számításokhoz célszerű felvenni egy  $v'_m$  átlagos lánccsebességet, amelyet a következőképpen kell számolni (3. ábra):

$$v'_m = \frac{v_a - v_i}{2} \quad (10)$$



3. ábra: Kormányzás kis ívsugáron

Forrás: a szerzők szerkesztése

Megjegyzés:  $s$ : nyomtávolság;  $R$ : kanyarodási ív sugara;  $l_a$ : a láncc felfekvési hossza;  $v_a$ : a külső íven futó láncc sebessége;  $v_i$ : a belső íven futó láncc sebessége;  $v'_m$ : átlagos lánccsebesség

A 3. ábrából, felhasználva a trigonometrikus összefüggéseket írható, hogy:

$$\frac{v_a - v_i}{s} = \frac{v_a}{s/2 + R} \quad (11)$$

amiből:

$$v_a - v_i = \frac{v_a}{1/2 + R/s}$$

felhasználva (10) egyenletet kapjuk:

$$v'_m = \frac{v_a}{\frac{1}{2} + \frac{R}{s}} = \frac{v_a}{1 + i_L},$$

kifejezve a jobb oldali, külső íven futó láncc sebességét:

$$v_a = v'_m (i_L + 1) \quad (12)$$

A belső íven futó és ellentétes irányban forgó lánchoz tartozó összefüggés a 3. ábra alapján a (11) egyenlethez hasonló összefüggések szerint:

$$\frac{v_a - v_i}{s} = \frac{-v_i}{s/2 - R} \cdot (13)$$

A (11) egyenlethez hasonló levezetés szerint kapjuk:

$$v_i = v'_m(i_L - 1) \quad (14).$$

A (10) és a (12) egyenletek összeadásából a kormányzási áttétel számítható [vö. (6), (7), (8)].

$$i_L = \frac{v_a + v_i}{v_a - v_i} = \frac{R}{s/2} \quad (15)$$

$$i_L = \frac{n_a + n_i}{n_a - n_i} = \frac{R}{s/2} \quad (16)$$

ahol:  $v_i < 0$  és  $n_i < 0$ .

### A láncsebességek az $i_L$ függvényében

A külső íven futó lánc sebessége a (5) és (12) egyenletek szerint a teljes  $0 \leq i_L \leq i_k$  tartományban pozitív. A belső íven futó lánc sebessége a (6) és a (14) egyenletek szerint kis ívsugártartományban negatív, vagyis a lánc ellentétes irányban forog, nagy ívsugártartományban pedig pozitív. A két lánc sebessége az  $i_L = i_k$  értéknél egyenlítődik ki, a jármű ettől a ponttól egyenesen halad. Az  $i_L = 0$  helyen a két lánctalp azonos sebességgel ellentétes irányban forog. Az  $i_L = 1$  helyen a belső íven forduló lánc nem forog.

### A kormányzás erőviszonyai

A lánkra ható erők nagy sugarú tartományban:

A lánctalpas jármű kanyarodásakor a lánkra ható tolóerőknek az alkalmazott modellünk szerint két ellenállást a gördülési és a fordulási ellenállást kell legyőznie a (16) (17) egyenletek szerint:

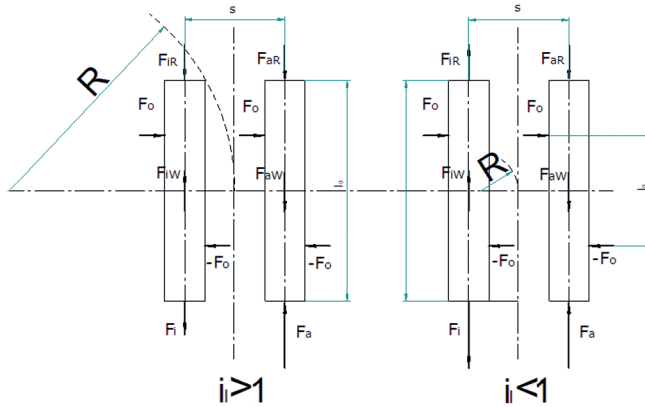
$$F_a + F_{aR} + F_{aW} = 0, \quad (16)$$

$$F_i + F_{iR} + F_{iW} = 0. \quad (17)$$

$F_R$ : gördülési ellenállás

$F_W$ : fordulási ellenállás

A (16) és a (17) modellje az egyszerű tárgyalás miatt elhanyagolja az emelkedési és a szél-ellenállást (légellenállást).



4. ábra: A lánctalpakra ható erők kis és nagy ívben történő kanyarodásnál

Forrás: a szerzők szerkesztése

Megjegyzés:

$F_{aR}, F_{iR}$  a külső, illetve a belső ívben forduló lánctalpakra ható gördülési ellenállás

$F_o, -F_o$  a kanyarodáskor a lánctalpakra ható fordulási ellenállás

$F_{aW}, F_{iW}$  az  $F_o, -F_o$  erőpárral azonos hatású a lánctalpakra konvertált erőpár

$F_i, F_a$  a lánctalpakra ható tolóerők

A lánctalpakra ható erők a 4. ábra alapján az  $F_i, F_a$  tolóerők az  $F_{aR}, F_{iR}$  gördülési ellenállás és a kanyarodáskor fellépő  $F_o, -F_o$  oldalirányú erő. A lántra ható erők meghatározásához az  $F_o, -F_o$  erőpárral azonos hatású, de a tolóerő és a gördülési ellenállással azonos hatásvonalú  $F_{aW}, F_{iW}$  erőket határozzuk meg, ezek lesznek az úgynevezett *fordulási ellenállások*. Az  $F_i$  nagysága és iránya a továbbiakban igazolt. A oldalirányú erők a lánctalpak elfordulási irányával ellentétes irányban mint reakcióerők keletkeznek. Ennek hatásvonala merőleges a lántra, és az erőpár erőinek merőleges távolsága a lánca felfekvési hosszának fele. A erőpár szimmetrikus a lánca vízszintes szimmetriatengelyére, nagyságát az úgynevezett  $f_w$  fordulási ellenállástényező és a lánctagra eső súlyerő segítségével lehet számítani a (18) szerint.

$$F_o = f_w \frac{F_g}{4} \quad (18)$$

Az oldalirányú erőpárok nyomatéka:

$$M_k = -f_w \frac{F_g l_a}{4} \quad (19)$$

A fordulási ellenállás hatásvonala megegyezik a lánctalp és egyben a gördülési ellenállás hatásvonalával. A nagyságát úgy határozzuk meg, hogy a két lánctalpra számítjuk azt az erőpárt, amelynek a nyomatéka azonos nagyságú és irányú a  $2 \times (F_o, -F_o)$  erőpárok nyomatékával.

$$F_{aW} = -F_{iW} = \frac{M_k}{s} = -f_w \frac{F_g l_a}{4 s} \quad (20)$$

A gördülési ellenállás nagysága:

$$F_{aR} = -f_R \frac{F_g}{2} \quad (21)$$

A (16) és a (17) egyenletekbe behelyettesítve a (20), (21) egyenleteket, és felhasználva a  $\lambda = l_a/s$  összefüggést a lánctalpakra, a haladáshoz és a kanyarodáshoz szükséges vonóerőnek a következőket kapjuk:

$$F_a = -F_{aR} - F_{aW} = f_R \frac{F_g}{2} + f_W \frac{F_g l_a}{4s} = \frac{F_g}{2} \left( f_R + f_W \frac{\lambda}{2} \right) \quad (22)$$

$$F_i = -F_{iR} - F_{iW} = f_R \frac{F_g}{2} - f_W \frac{F_g l_a}{4s} = \frac{F_g}{2} \left( f_R - f_W \frac{\lambda}{2} \right) \quad (23)$$

A lánkra ható erők kis sugarú tartományban:

A kis ívben történő kanyarodáskor a különbséget a gördülési ellenállás iránya jelenti. A belső íven forduló lánctag ugyanis a jármű haladási irányával ellentétes irányban halad, tehát:

$$F_{aR} = -f_R \frac{F_g}{2} \quad (24)$$

$$F_{iR} = f_R \frac{F_g}{2} \quad (25)$$

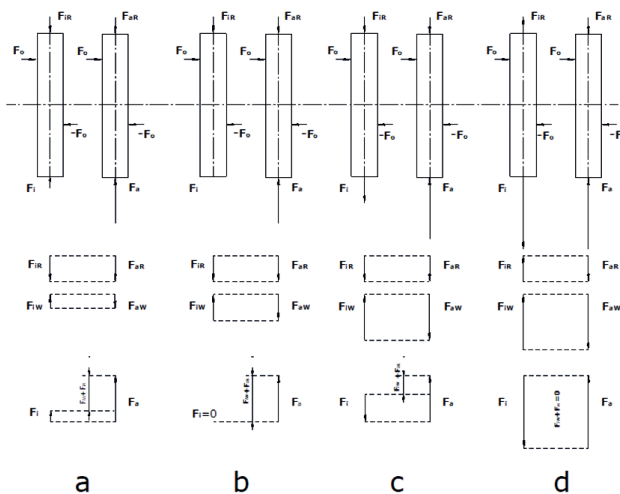
Az oldalirányú erők nagysága és iránya változatlan, ezért:

$$F_a = -F_{aR} - F_{aW} = f_R \frac{F_g}{2} + f_W \frac{F_g l_a}{4s} = \frac{F_g}{2} \left( f_R + f_W \frac{\lambda}{2} \right) \quad (26)$$

$$F_i = -F_{iR} - F_{iW} = -f_R \frac{F_g}{2} - f_W \frac{F_g l_a}{4s} = -\frac{F_g}{2} \left( f_R + f_W \frac{\lambda}{2} \right) \quad (27)$$

A lánctalpra ható erők ábrázolása:

A (22), (23), (26), (27) egyenletekben szereplő  $f_R$  gördülési ellenállási együttható függetlennek tekinthető a kanyarodási ívhosszhoz képest, evvel együtt az  $i_l$  kormányzási áttételhez is. A (1) egyenlet alapján az  $f_W$  fordulási ellenállási együttható viszont nem tekinthető függetlennek, ugyanis ez az  $i_l$  növekedésével csökkenő tendenciát mutat. A maximális értéket az  $i_l = 0$  értéknél veszi fel, ahol a jármű helyben fordul, a nagysága pedig  $f_W > 1$ , vagyis többszöröse a gördülési ellenállás maximumának. A kanyarodási ívhossz növekedésével csökkenő tendenciát mutat. A külső íven futó lánkra ható tolóerő a teljes vizsgálati tartományban pozitív, az  $i_l = i_k$  értéknél  $f_W = 0$ , vagyis nem kanyarodik a jármű. A belső íven futó lánkra ható tolóerő (23) egyenlet szerint  $F_i = 0$  értéket vesz fel, ha  $f_W \lambda = 2f_R$ . A belső íven futó lánccal ekkor tolóerő nélkül fut. A járművet egyedül a külső lánctalpra ható tolóerő hajtja. Ettől balra  $f_W \lambda > 2f_R$  esetében a (23) egyenlet szerint, a belső íven futó lánctalpra ható  $F_i$  tolóerő negatív, ettől jobbra pedig pozitív (azonos irányú mint a külső lánctalp tolóereje).



5. ábra: Erőhatások különböző  $i_L$  kormányzási áttételnél

Forrás: a szerzők szerkesztése

a:  $i_K > i_L > i_L (f_R = f_W \lambda / 2)$

b:  $i_L = i_L (f_R = f_W \lambda / 2)$

c:  $i_K (f_R = f_W \lambda / 2) > i_L > 1$

d:  $1 \geq i_L > 0$

Az 5. ábra a kanyarodás négy helyzetét ábrázolja. Az a) esetben a kanyarodás ívsugara az  $f_W > f_W \lambda / 2$  tartományban van, ahol  $i_K > i_L > \sim 200$  és  $F_i > 0$  a (23) egyenlet szerint. Az  $F_a, F_i$  erők nagyságának meghatározásakor figyelembe vesszük, hogy  $f_W$  az  $i_L$  függvénye.

Az 5 a) ábrán látható, hogy a kanyarodási ellenállás abszolútértéke kisebb, mint a gördülési ellenállás, és negatív irányú nyomatékot fejt ki a járműre. A hajtáshoz szükséges tolóerővektorok mindkét lánctagon pozitív irányúak, és a belső íven futónak kisebb a nagysága. A szakasz szélső helyzete, amire külön ábra nem készült, az  $i_K \leq i_L$ , ahol az  $F_a = F_i$  és a jármű egyenesen halad.

Az 5b) ábra azt a helyzetet mutatja, ahol a gördülési és a fordulási ellenállás nagysága azonos, értelmük a belső láncon ellentétes a külsőn pedig megegyező, vagyis  $F_{aR} = F_{aW}$ . Ez a kanyarodás azon speciális helyzete, ahol a belső íven forduló láncot nem hajtja tolóerő.

Az 5c) ábra az  $f_R = f_W \lambda / 2$  ponttól az  $i_L = 1$  pontig mutatja az erőhatásokat. A belső íven futó láncra ható tolóerő negatív értéket vesz fel. A gördülési ellenállás az előre futó láncok miatt negatív irányú. A belső ív negatív tolóereje a gördülési ellenállásnál nagyobb fordulási ellenállás miatt képződik. Ezen a szakaszon tehát a belső íven futó láncra ható erő, vagyis az a reakcióerő, ami a talajon képződik és a láncra hat, fékező jellegű lesz. A negatív irány, mint azt később látni lehet, negatív (fékező) teljesítményt is fog jelenteni.

Az 5d) ábrán a kis ívű kanyarodáskor ható külső erőket lehet tanulmányozni. Az előző szakasztól az eltérést az okozza, hogy a belső íven forduló lánc forgási iránya megváltozik, így a gördülési ellenállás iránya is. A láncre ható  $F_a$ ,  $F_i$  erők erőpárt képeznek. Az  $F_i$  itt is negatív, de a lánc forgási irányával megegyező, tehát itt már nem fékerőként, hanem tolóerőként funkcionál.

## A kormányzás teljesítményviszonyai

A  $P = Fv$  összefüggés szerint a (5), (6), (22), (23) egyenleteket felhasználva nagy ívtartományra a következő összefüggéseket kapjuk:

$$P_a = \frac{F_G}{2} v_m \left( f_R + f_w \frac{\lambda}{2} \right) \left( 1 + \frac{1}{i_L} \right), \quad (28)$$

$$P_i = \frac{F_G}{2} v_m \left( f_R - f_w \frac{\lambda}{2} \right) \left( 1 - \frac{1}{i_L} \right). \quad (29)$$

Kis ívtartományra (12), (14), (26), (27) egyenleteket felhasználva a következő összefüggéseket kapjuk:

$$P_a = \frac{F_G}{2} v'_m \left( f_R + f_w \frac{\lambda}{2} \right) (1 + i_L), \quad (30)$$

$$P_i = \frac{F_G}{2} v'_m \left( f_R + f_w \frac{\lambda}{2} \right) (1 - i_L). \quad (31)$$

A lánctalpak teljesítménye két helyzetben azonos az  $i_L = i_k$  és az  $i_L = 0$  esetében, vagyis helyben forduláskor és egyenes haladáskor. A belső íven forduló lánc teljesítménye az  $f_w \lambda = 2f_R$  helyen nulla értéket vesz fel, az  $1 < i_L < i_L(f_R = f_w \lambda/2)$  tartományban viszont negatív. A tolóerő negatív értelmű, vagyis fékerő. A lánc kerületi sebessége, ezzel együtt a láncmeghajtó keréke is pozitív irányú, vagyis a jármű haladási sebességével megegyező. A láncre ható haladási sebességgel ellentétes irányú tolóerő vagyis fékerő ebben az esetben a lánctól a láncmeghajtókerék irányában hat.

A (29) egyenletet, ha megvizsgáljuk, akkor láthatjuk, hogy két helyen vesz fel nulla értéket. Az  $f_R = f_w \lambda/2$ , valamint az  $i_L = 1$  helyen, a két érték között, mivel itt  $f_R < f_w \lambda/2$ , a függvény értéke negatív, vagyis a belső íven futó lánc teljesítménye negatív, ez következik a haladási irányral ellentétes irányú toló- (fékező) erőből. Ennek az erőnek a teljesítményét meddőteljesítménynek nevezzük. A külső íven futó lánc teljesítményének egy része arra használdók, hogy a belső íven futó és fékezett lánctalpat a haladási irányban tolja. Az úgynevezett regeneratív kormányzási megoldásoknál a belső ív láncmeghajtókerékének meddő teljesítménye a külső lánctalpra táplálható.

A jármű teljesítménye felírható a két lánctalp teljesítményösszegeként:

$$P_T = P_a + P_i \quad (32)$$

A (32) egyenletbe behelyettesítve az  $i_L > 1$  esetre a (28) és a (29) egyenleteket, valamint az  $i_L < 1$  esetre a (30), (31) egyenleteket a nagy és a kis ívű tartományra a következőket kapjuk:

$$F_i = -F_{iR} - F_{iW} = f_R \frac{F_g}{2} - f_W \frac{F_g l_a}{4 s} = \frac{F_g}{2} \left( f_R - f_W \frac{\lambda}{2} \right) \text{ ahol } i_L > 1 \quad (33)$$

$$P_T = F_G v'_m \left( f_R + \frac{f_W \lambda}{2 i_L} \right) \text{ ahol } i_L < 1 \quad \text{ahol } i_L < 1 \quad (34)$$

A (33) és a (34) egyenletekből következik, hogy a teljesítmény osztható a gördülési és a fordulási ellenállások szerint:

$$P_T = P_R + P_W \quad (35)$$

A (35) és (33) alapján a gördülési ellenállás teljesítménye nagy ívsugarú tartományra  $i_L > 1$ :

$$P_R = F_G v'_m P_{R'} \quad (36)$$

a fordulási ellenállás teljesítménye:

$$P_W = F_G v'_m f_W \frac{\lambda}{2 i_L} \quad (37).$$

Kis ívsugarú ( $i_L < 1$ ) tartományban a (35) szerinti bontás:

$$P_R = F_G v'_m f_R \quad (38)$$

$$P_W = F_G v'_m f_W \frac{\lambda}{2 i_L} \quad (39)$$

## Összegzés

Jelen tanulmány a lánctalpas harcjárművek kanyarodási elv szerinti csoportosítását, illetve az ívmenetek során adódó sebességviszonyok leírását, továbbá a meghajtókerekre ható erők meghatározását tűzte ki célul. Vizsgálta a lánctalpas eszközök kanyarodását, illetve a fordulásuk kinematikáját. Megállapítható, hogy az erőátviteli és a kormányberendezések terén a fejlődés útja a mechanikustól a hidromechanikuson keresztül a hidrodinamikus felé mutat.<sup>12</sup> A korszerű harckocsiban működő kormánygépnél magas fejlettségű automata sebességváltóval kell együttműködnie, ezért a kormánygép konstrukcióját – rendszerszemléletű megközelítést alkalmazva – az automata váltóval összefüggésben célszerű vizsgálni. A korszerű regeneratív elven működő, hidraulikus elemekkel kiegészített kormánygép az erőátvitelben

<sup>12</sup> TYTLER et al. 1985: 98.

is szerepet játszik. Összeségében belátható, hogy a megfelelő konstrukciójú kormánygép megválasztása és alkalmazása döntő mértékben befolyásolhatja a lánctalpas harcjárművek harcászati tulajdonságait. A rendszeresített keleti (szovjet-ország) harckocsi-konstrukciók a kormánygép (és az automata sebességváltó) tekintetében konstrukciós szempontból – így harcászati tulajdonságaikat tekintve is – bizonyos mértékig elmaradtak a nyugati (például német és amerikai) típusok mögött.

## Irodalomjegyzék

- GYARMATI József – HEGEDŰS Ernő – GÁVAY György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek, Wilson váltó. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 113–126. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- KISS László (1998): *Lánctalpas eszközök kormányzása*. Budapest: Bolyai János Katonai Műszaki Főiskola.
- MERHOF, E. – HACKBARTH, M. (2015): *Fahrmechanik der Kettenfahrzeuge*. [h. n.]: [k. n.]. Online: <https://athene-forschung.unibw.de/doc/111331/111331.pdf>
- OGORKIEWICZ, Richard M. (1991): *Technology of Tanks*. II. kötet. Coulsdon, United Kingdom: Jane's Information Group Publication.
- POLINSZKY Károly (1972): *Műszaki Lexikon*. G–M. Budapest: Akadémiai.
- TYTLER, I. F. B. et al. (1985): *Vehicles and Bridging*. Shrivenham, U.K.: Royal Military College of Science, Brassey's Defence Publishers Ltd.