

# A GÉPJÁRMŰVEK FUTÓMŰELLENŐRZÉSE SORÁN ELKÖVETHETŐ HIBÁK ANALÍZISE ÉS KIKÜSZÖBÖLÉSI LEHETŐSÉGŰK

KISMARTONI Péter

Budapesti Műszaki Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar  
Járműgépészeti Intézet

A kormányozott kerék csapjának helyes beállítását lényegében az egyenesmeneti kerékdőlésszög és a csaphátradőlés mérésével végezzük. A mérés során elkövethető hibákat egy olyan matematikai modell segítségével analizáltam, amely alkalmas a legújabb típusú futóművek szimulálására is, melyeknél a kormányozott kerék csapjának hátradőlése az eddigi érték két-háromszorosa. A felfüggesztés megfelelő kialakításával az utánfutás mértéke 5–10 mm. Az ilyen kialakítású futómű ellenőrzése során az elkövethető mérési hibák is jelentős mértékben növekszenek.

## Matematikai modell az elsőkerék dőlésszögének meghatározására az elkor- mányzás függvényében

A dőlésszög meghatározásához olyan koordinátarendszerben helyeztem el az első kereket, ahol a kerék síkja határozza meg az  $xz$  síkot. A kerék és a talaj pontszerűnek feltételezett érintkezési pontját (amit a kezdeti értékvétel határoz meg) tekintettem a rendszer origójának. Az  $xz$  síkra ebben a pontban merőleges egyenes az  $y$  tengely, a koordinátarendszer jobbsodrású.

A felfüggesztés jellemzőit figyelembevéve határoztam meg azt a módszert, amellyel a dőlésszög egyszerűen és gyorsan kiszámítható.

A kerék dőlésszöge helyett a kerék normálisának a  $z$  tengellyel (függőlegessel) bezárt szögét határoztam meg.

Az 1. ábrán látható koordinátarendszerben a kerék középpontját  $P_3$ -mal jelöltem. Miután a  $P_3$  pont az  $yz$  síkban van;

$x$  koordinátája: 0

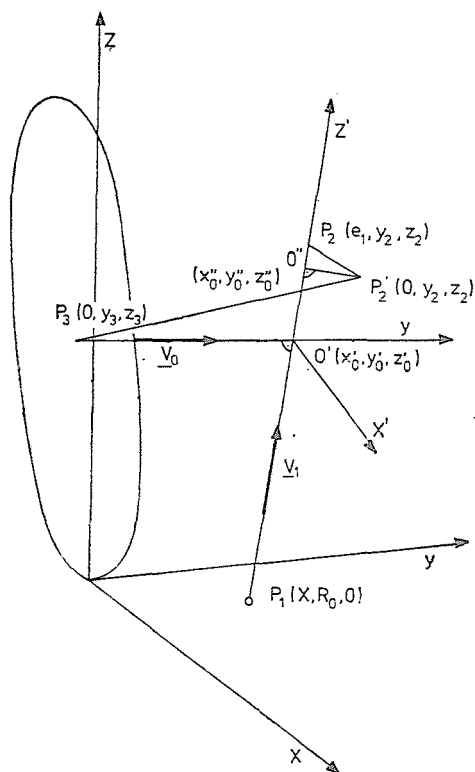
$y$  koordinátája:  $-r_{\text{din}} \cdot \sin \gamma_0$

$z$  koordinátája:  $r_{\text{din}} \cdot \cos \gamma_0$

ahol:

$r_{\text{din}}$  a kerék dinamikus sugara

$\gamma_0$  a kerék egyenesmeneti dőlésszöge



1. ábra. A koordinátarendszer jelölései

Ezután a koordinátarendszerben felvettem a csap irányát meghatározó  $P_1$  és  $P_2$  pontokat. A  $P_2$  pontot az előlnézetből határoztam meg.

Bevezetve a:

$$T = (r_{\text{din}} + R_0 \sin \gamma_0) \operatorname{tg}(\gamma_0 + \delta) + R_0 \cos \gamma_0$$

segédváltozót, ahol:

$R_0$  az elkormányzási sugár  $y$  koordinátája,  
 $\delta$  a csapterpesztés,

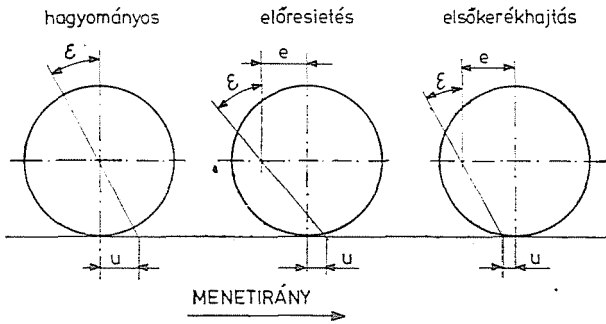
a pont koordinátái:

$x$  koordináta: 0

$y$  koordináta:  $T \cos \gamma_0 - r_{\text{din}} \sin \gamma_0$

$z$  koordináta:  $T \sin \gamma_0 - r_{\text{din}} \cos \gamma_0$

A  $P_2$  pontból az  $x$  tengellyel párhuzamos egyenessel metszve a csap egyenesét adódik a  $P_2$  pont.



2. ábra. Az utánfutás lecsökkentése a kerék előresietésével

$P_2$  pont koordinátái:

$$(e, y_2, z_2)$$

ahol  $e$  a kerék előresietése,

$y_2, z_2$  a  $P'_2 y, z$  koordinátaival egyezik meg.

A számítás során szükségesnek láttam az  $e$  előresietés fogalmát bevezetni.

A korszerű autótípusoknál a szokásos mértékű csaphátradóلسي értékeknél lényegesen nagyobb, 10–12 fokos hátradóلسي kezdenek alkalmazni. Ez viszont igen nagy utánfutást eredményez, ami a kormányzásnál hátrányos. Ezt a hátrányt úgy szüntetik meg, hogy a keréknek a csaphoz képest „előresietést” adnak, így az utánfutás lecsökkenthető, amint azt a 2. ábra mutatja.

A  $P_1$  pont a csap egyenesének a  $zy$  síkkal való metszéspontja. Koordinátái:

$$(z_2 \cdot t_g \varepsilon + e, R_0, 0)$$

ahol  $\varepsilon$  a csap hátradóلسي (utánfutása).

Tekintettel arra, hogy elkormányzáskor a kerék a csap körül fordul el, koordináta transzformációt hajtottam végre.

Az új koordinátarendszer  $z'$  tengelye a csap egyenese, melynek irányvektora:

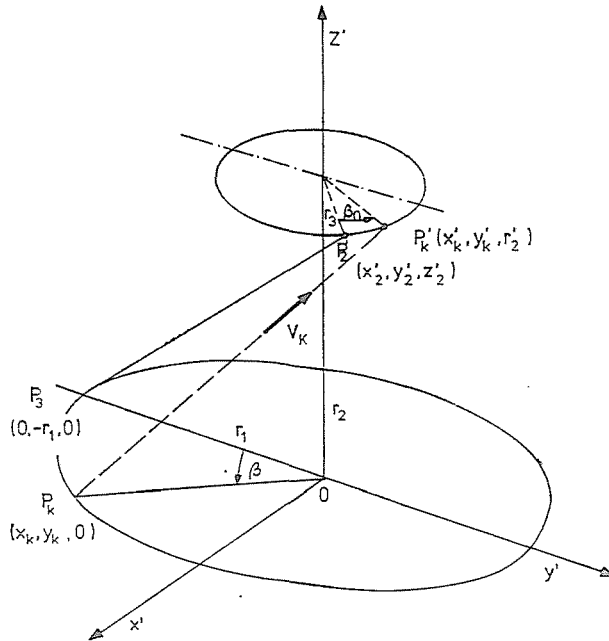
$$V_1(e - x_1, y_2 - R_0, z_2)$$

Azért kellett ezt a transzformációt végrehajtani, hogy a kormányzási szöget közvetlenül, egyszerű módon lehessen a dőlésszög meghatározásánál figyelembe venni.

Az  $r_1 = \overline{P_3 0}$ ,  $r_2 = \overline{0' 0''}$  és  $r_3 = \overline{0'' P''}$  távolságokat kiszámítva már az új koordinátarendszerre térhetek át, amelyet a 3. sz. ábra szemléltet.

Természetesen a régi koordinátarendszerben megadott alappontokat és a  $z$  tengely irányvektorát is transzformálni kell az új koordinátarendszerbe.

A transzformációs mátrix segítségével meghatároztam a  $P_2 (x'_2, y'_2, r_1)$  pont új koordinátáit, valamint a  $z$  tengely  $(z/n_1, n_2, n_3)$  irányvektorát. A  $P'_2$  és



3. ábra. Az új koordinátarendszer

a  $P_3$  pontok (a  $P_3$  koordinátái az új koordinátarendszerben egyszerűen adódnak) határozzák meg a kezdeti értékfeltételt. A kereket  $\beta$  szöggel el kormányozva a

$$V_k(x'_k - x_k, x'_k - y_k, r_2)$$

és a  $z(n_1, n_2, n_3)$  vektor hajlásszögének a kiegészítőszöge adja az elsőkerék dőlésszögét:

$$\gamma = \arcsin \frac{n_1(x'_k - x_k) + n_2(y'_k - y_k) + n_3 \cdot r_2}{\sqrt{(x'_k - x_k)^2 + (y'_k - y_k)^2 + r_2^2}}$$

Az  $e = 0$  esetében (hagyományos futóművek) a  $P'_2$  pont a  $z'$  tengelyre kerül, így a  $V_k$  vektor  $z'$  tengelyű kúp alkotójává válik, a kormányzás során tehát a kúp palástját járja körbe.

A számítás elvégzésére programot készítettem a Gépjárművek Tanszék EMG 666-os számítógépére. A program 40 műveleti rekeszt használ és 654 programlépésből áll.

A program meghatározza a segédváltozókat, amelyek a sornyomatón kiírásra is kerülnek. Ezután tetszőleges kormányzási szög esetén meghatározásra kerül a dőlésszög. A kifelé kormányzás szögét negatív előjellel, a befelé kormányzást pozitív szöggel kell megadni, a dőlésszögek így előjelhelyesen adódnak.

### A futóellenőrző mérés során elkövetett hibák analitikai vizsgálata

Az ismertetett számítógépes eljárás lehetővé tette, hogy a térben döntött csap körül elforduló kerék helyzetét igen gyorsan és egyszerűen meghatározhassam. Ezt a lehetőséget használtam ki arra, hogy megvizsgáljam a mérés során elkövetett hibák hatását a mérési eredményre.

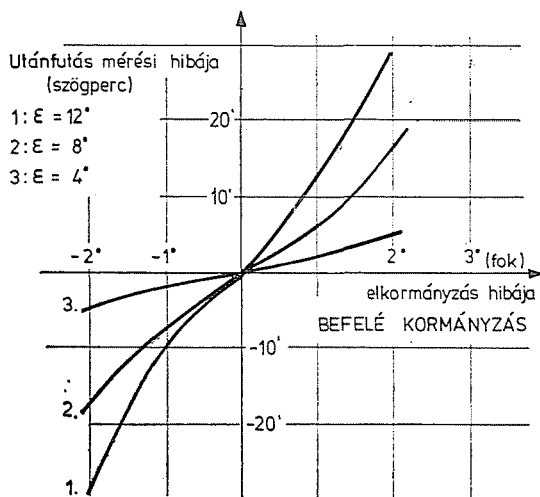
A legtöbb műszerrel a csapterpesztés és utánfutás (csaphátradőlés) mértéke 20–20 fokos elkormányzás során állapítható meg. Azt elemeztem, hogy a kifelé, illetve befelé kormányzáskor az elkormányzásnál elkövetett hiba mekkora mérési hibát eredményez, a különböző nagyságú utánfutás ( $\varepsilon$ ) esetében. Az eredményeket a 4. és az 5. ábrán foglaltam össze.

A 4. és az 5. ábrából látható, hogy a forgószámolyok  $\pm 1^\circ$ -os holtjátéka miatt jelentős mérési hiba adódik.

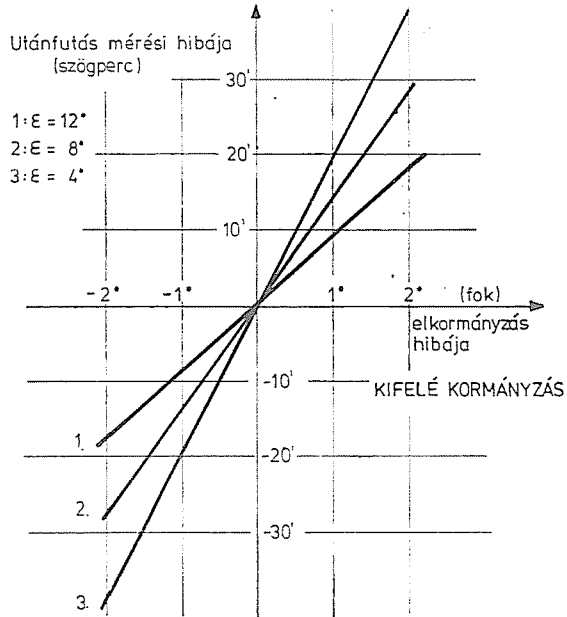
A kerékdőlés mérésénél a kereket egyenesmeneti helyzetbe kell kormányozni. Számítással ellenőriztem, hogy a hibás egyenesmeneti helyzet különböző utánfutási értékeknél mekkora hibát eredményez, ezt a 6. ábrán foglaltam össze.

A mérés során a hibásan beállított egyenesmeneti helyzet és az utánfutás (csapterpesztés) megállapításához hibásan elkormányzott kerekek miatt a 6. és a 7. ábrán látható kerékdőlések és utánfutásértékek jönnek létre. A csaphátradőlés növekvő mértékével ezek szintén növekednek, és nagymértékben meghaladják a szokásos tűrés értékeket.

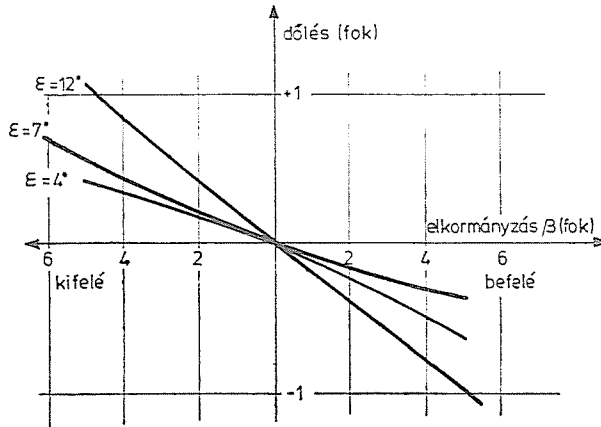
A futómű ellenőrzés során fentiek miatt biztosítani kell az egyenesmeneti helyzet és az elkormányzási szögértékek lehető legpontosabb beállítását.



4. ábra. Befelé kormányzáskor elkövetett mérési hiba hatása a mérési eredményre



5. ábra. Kifelé kormányzáskor elkövetett mérési hiba hatása a mérés eredményére

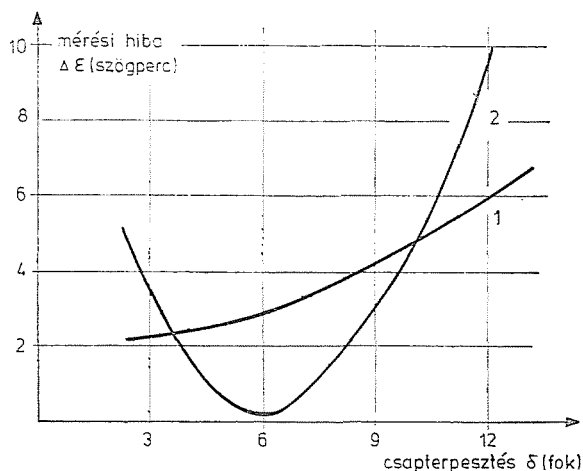
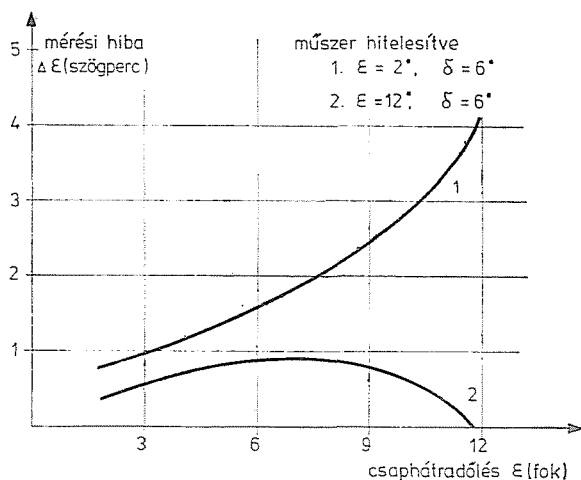


6. ábra. A kerékdőlés mérésénél elkövethető hiba rosszul beállított egyenesmeneti helyzetben, az utánfutás függvényében

### A futóműellenőrzési módszer pontosságának analitikai vizsgálata

Számítógépes eljárásomat felhasználtam arra is, hogy ellenőrizzem a csap-terpesztés és csaphátradőlés mérési módszereit.

A mérések lényege, hogy a  $20 - 20^\circ$ -kal elkormányzott helyzetekben mérjük a kerékdőlés, illetve a kerék normálisával meghatározott síkban a kerék középpontja által rajzolódó kör érintőjének szögváltozásait.



7. ábra. A mérési elv hibája különböző csaphátradőlés és csapteresztés esetén

A kerék normálisának a mozgására azonban a csap térszöge hat, tehát a kerék dőlése, csapteresztés, csaphátradőlés együttesen.

A 20–20°-os alakormányzás során ezek a hatások nem függetleníthetők egymástól.

Az ellenőrző műszert úgy szerkesztették, hogy a 20–20°-os elkormányzáskor létrejövő szögváltozást adott arányossági tényezővel kell megszorozni úgy, hogy a pl. a csaphátradőlést adja ki. Azonban ez az adott arányossági tényező csak bizonyos térszög esetében igaz és pontos, más térszöghöz más arányossági tényező tartozik.

Vizsgálataim során különböző térszögre beállított csapok körül forduló kerék normálisának mozgását figyeltem analitikai úton és ellenőriztem, hogy

különböző térszögre hitelesített futóművizsgáló műszernél mekkora hiba adódik.

A vizsgálatot csak a csaphátradőlés mérésére végeztem el. (Csapterpesztést nem szoktak mérni, mivel ennek hibája a kerékdőlésben közvetlenül megnyilvánul.) Alkalmas azonban az eljárás a csapterpesztés mérésének elvi ellenőrzésére is.

A vizsgálatokat az alábbi lépések szerint végeztem el:

- a) különböző  $\varepsilon$  csaphátradőlés és  $\delta$  csapterpesztés értékek mellett meghatároztam, hogy a mérőműszernél adott  $\varepsilon$  értékekhez milyen arányossági tényező tartozik.
- b) ezúton  $\varepsilon_v$  és  $\delta_v$  valóságos értékeket vettem fel. meghatároztam a  $\pm 20 - 20^\circ$ -os elkormányzás során létrejövő dőlés változást, az előző szorzótényezővel besoroztam és az  $\varepsilon_m$  mért utánfutás értéket így meghatároztam.
- c)  $\varepsilon_m$  és  $\varepsilon_v$  eltérése adta a  $\Delta\varepsilon$  mérési hibát.

A mérési eljárás során létrejövő hibát a különböző térszögeknél hitelesített műszerek esetében a 7. ábrán mutatom be.

A hibagörbékől az a következtetés vonható le, hogy a műszereket célszerű a szokásos  $\delta = 6^\circ$  csapterpesztés és az újabban egyre inkább terjedő nagy,  $\varepsilon = 12^\circ$  csaphátradőlés értéknél hitelesíteni.

### Irodalom

1. Reimpell, I.: Fahrwerktechnik, Würzburg, Vogel Verlag, 1970.
2. Hamann, C.: Analytical Production of Vehicle Handling Behavior SHE Paper 670. 1967./10.
3. Mitschke, M., Fehlaue, J.: Einfluss der Radaufhängungskinematik auf das Fahrverhalten DKF-Heft 213 (1973)

Dr. Kismartoni Péter egy. adjunktus