

***Szakaszosan táplált hidraulikus szervokormány rendszerek alkalmazhatósága.***

***Írta:***

***dr. Varga Zoltán***

***Tudományos vezető:***

***Dr. Ilosvai Lajos***

***egyetemi tanár***

***a műszaki tudomány doktora***

***Budapest 2002***

---

**1. Az értekezés tárgya és előzményei**

Az értekezésben ismertetett kutatás tárgya egy a nagy terhelésű járműveknél használható kompakt, változó térfogatárammal táplált szervokormány használhatóságának a vizsgálata, amely az alkalmazás szempontjából legalább a jelenleg alkalmazott kormányrásegítővel azonos értékű. A változó térfogatárammal való hidraulikus táplálás többféle megoldásra utallhat: szakaszos táplálást, amely állásos szabályzású rendszert jelent, kétfokozatú szivattyú meghajtással rendelkező táplálást, amely kétállású állásos szabályzású rendszert takar, valamint folyamatosan változtatható térfogatárammal való táplálást, amely folytonos szabályzásra utal. A kutatások során felmerült új, a szakaszos táplálásúaknál a nagy tengelyterhelésű haszonjárművek számára megfelelőbb rendszerek tették szükségessé a címbe szereplő eredeti alapelv kiterjesztését az újabb, de a szakaszos táplálásúval rokon szervokormány rendszerekre. A vizsgálatokhoz alkalmas módszereket kellett választani, amelyek lehetővé teszik a rendszerek használhatóságának bizonyítását. A vizsgálati eredmények alapján a már létező és a kutatási eredmények alapján felvetődött hidraulikus szervokormány rendszereket kellett értékelni és összehasonlítani a korszerű technika követelményei alapján

A hidraulikus szervokormányok fejlesztésének legutóbbi fő irányai a kompakt építésmód, az alacsony energiafelhasználás, és az elektronikus beavatkozás lehetőségének megvalósítását célozzák, főként a jármű sebességét, illetve terhelését figyelembe véve. Jelentős törekvés mutatkozik a kormányzásnak a vezetőtől való függetlenítésére, amelynek során egyre részletesebb és több körülményt figyelembe vevő modelleket és eljárásokat dolgoznak ki.

A szervokormányok elemzésének háttérét biztosító járműdinamikai kutatások összefoglaló vizsgálatával foglalkozik *A. Jante, M. Mitschke, J.Reimppel, T.D. Gillespie*. A részletes járműmodell-alkotás szerteágazó és több járműfajtára kiterjedő kutatási eredményei közül a vizsgált témához leginkább a *Wong* által felállított modell felelt meg legjobban.

A kormány szerkezet vizsgálatához *R.Gnadler, A.Schmidt* mellső futómű kormányzás-lengésvizsgálati rendszerét alakította ki, amelyben a paramétereket Lagrange egyenletekkel határozta meg. *H.S. Chen* 4 szabadságfokú kormány szerkezetre állapotér elméleti modellt dolgozott ki.

*R. Dürr, W. Schielen, I. Zarrow* különböző modelleket állított fel a hidraulikus szervokormányok számítógépes szimulációjához.

*E.Ghöring, E.C. von Glasner, C.M. Hainbuch* elektronikus kormányvezérlés szimulációs rendszert fejlesztett ki haszonjárművekre, saját mérések alapján kialakított gumibroncs modellel. *H. Schwangart, D.A. Golla* lineáris gumibroncs modellt alkotott kis sebességű nehézgépjárművek vizsgálatához. *H.Mabrouke, H.F. Chen, A.Y.Maalej, D.A. Guenther* részletesen vizsgálta a gumibroncs oldalmeresség hatását a kormányzási viszonyokra mechanikus kormánynál. *H.B. Pacejka* nem lineáris gumibroncs modellt állított fel, amely mérési eredmények felhasználásával alakítható ki és figyelembe veszi a vonó és fékező erő, valamint a gördülési ellenállás és a futómű geometriai jellemzők hatását.

*H. Stoll* alapvetően összegzi a kormányzás és kormányrendszerek jelenlegi technikai állapotát.

*W. Perret* a mellső futómű geometriai jellemzőinek hatását elemzi a kormányzási nyomatékra.

*R.Povel* egy tolattyús szervokormány dinamikai viszonyait elemzi egyszerűsített járműmodellen. *Uwe Altmann* Rendszerezi a különböző szakaszos táplálású hidraulikus szervokormány rendszereket. *Ratskó Gy.* szervokormányok egyensúlyi és dinamikai alapkörülményeinek meghatározását és mérési módszereit adja meg. *Harth P.* és munkatársai a hidraulikus szervokormányok teljes körű, fejlesztéscentrikus redszerező leíró vizsgálatát végezték el.

A modelleket leíró differenciálegyenletek stabilitási vizsgálataira nagyszámú szerző dolgozott ki felhasználható matematikai módszert, melyeket *Farkas M., H. Troger, G. Guckenheimer, P. Holmes* foglalt össze. Szervokormányok linearizált modelljének stabilitásvizsgálatát végezte el *J.Tuma* egyszerűsített kormánymodellen.

Dinamikai rendszerek szimulációjára alkalmas több számítógépes fejlesztőprogram létezik, amelyek közül való választást nem az optimalizálásra törekvő igény, hanem a reális lehetőségek határozzák meg. A szimulációs programok fejlesztésére használt MATLAB Simulink felhasználói programegyüttes széleskörű numerikus eljárás hátérrel rendelkezik és ezért felhasználási lehetőségeit tekintve megfelelő eszköznek bizonyult a modellvizsgálatokhoz.

A szimulációs programok grafikus felületen, "drag and drop" módszerrel készített analóg elven felépülő hálózatok, melyek szemléletesen követhetővé teszik az adott szerkezetek működését, közvetlenül biztosítják az időbeli folyamatok megfigyelését, valamint a paramétereknek

---

## 2. Szervokormányrendszerek elemzése és kritikai értékelése

Az alkalmazott szervokormány rendszerek az energia közvetítésének módjában és szerkezeti felépítésben különböznek egymástól. A szervokormányokkal szemben támasztott járműdinamikai követelményeket minden rendszernek teljesítenie kell. Ennek megfelelően a szervokormányoknak azon részei, amelyek a vezetőhöz és a jármű kormányzott kerekeihez kapcsolódnak, megegyeznek a mechanikusnak nevezett, rásegítés nélküli kormányberendezéseknél alkalmazott megoldásokhoz. A kormányberendezés mechanikus részei tehát alapvetően nem térhetnek el a rásegítés alkalmazása miatt. A kormánygépek választékának beszűkülése két alapvető típusra (fogasléces és csavarorsós) a rásegítés nélküli rendszereknél is megtörtént.

A szervokormányok alapvető rendszerezését szemlélteti az alábbi táblázat.

### **Szervokormányok**

<b>Munkaközeg</b>	<b>Építésmód</b>	<b>Mechanikus kormánygép</b>	<b>Vezérlő elem</b>	<b>Fojtónyílás alak</b>	<b>Alapállapot</b>
				<i>Téglalap</i>	<i>Nyitott</i>
<i>Hidraulikus</i>	<i>Integrált</i>	<i>Fogasléces</i>	<i>Forgótolattyús</i>	<i>Kettős téglalap</i>	<i>szimmetrikus</i>
	<i>Kormánysegély</i>	<i>Csavarorsós</i>		<i>Körszelet</i>	<i>Nyitott</i>
					<i>aszimmetrikus</i>
					<i>Zárt</i>
			<i>Tolattyús</i>	<i>Hengerpalást</i>	
<b>Vákuumos</b>	<i>Integrált</i>	<i>Fogasléces</i>			
<i>Elektromos</i>	<i>Integrált</i>	<i>Fogasléces</i>			
	<i>Kormánysegély</i>				

### **Az eddig alkalmazott rásegítő rendszerek elemzése és kritikai összevetése**

A legáltalánosabban elterjedt hidraulikus rendszerek mellett az elektromechanikus szervokormányok elterjedése a legjellemzőbb főként a személygépkocsikban.

A kormányrendszerek összehasonlításának fő szempontjai:

- alkalmazhatóság
- járműdinamikai jellemzők
- építésmód
- méret
- energiatafelhasználás
- biztonság
- építési költségek
- élettartam
- üzemeltetés, karbantartás

### **Elektromechanikus szervokormány**

Alapvető jellemzői: fogasléces kormánygép, nagy fordulatszámú villanymotor, nagy lassító áttételű mechanikus hajtómű, vezérelt tengelykapcsoló a villamos és mechanikus hajtás

összekapcsolására.

Összességében az elektromechanikus szervokormány főként a járművek kényelmi mutatóinak a javítására szolgál, mivel azonban a legjelentősebb piaci szegmensét érinti a járműiparnak, és minden mutatójában kielégíti a korszerű fődarabokkal szemben támasztott követelményeket, elterjedtsége várhatóan igen nagymérvű lesz.

### **Elektrohidraulikus szervokormány**

A nagyobb tengelyterhelésű és igényesebb járművek kormányberendezése.



Elektrohidraulikus szervokormány személygépkocsi számára

Alapvető jellemzők: Elektrohidraulikus tápegység, szakaszosan illetve több fokozatban járatott térfogatkiszorítású szivattyúval. Nyitott vagy zárt alapállapotú kormánygép vezérlő berendezés. Csúcsterhelésnél hidraulikus akkumulátoros rásegítés. A kormánygép fogasléces illetve a nagyobb járműveknél csavarorsós.

Minden járműtípusban alkalmazható, de az energiatakarékosságra törekvő alacsony kibocsátású járművekben várhatóan nem alkalmazzák majd.

### **Folytonos táplálású hagyományos hidraulikus szervokormány**

A több évtizedes tapasztalatok és a kiforrott paraméterek minden tekintetben kielégítik a velük szemben támasztott használati és járműdinamikai követelményeket. Minden járműben alkalmazhatók, de nagy fajlagos energiafelhasználásuk miatt a kis tengelyterhelésű járműveknél nem célszerűek.

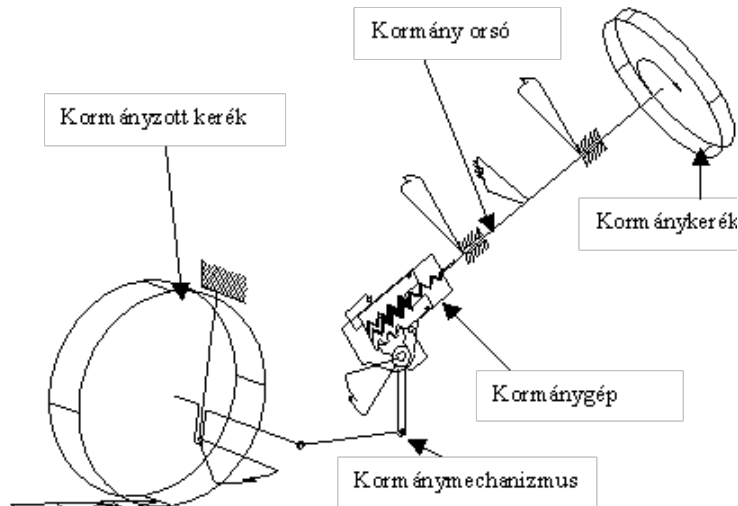
Építésmódjuk szétszórt, egyes elemei a jármű motorhoz szorosan kapcsolódnak. Ennek következtében rendszerlemei igen nagy távolságban is lehetnek egymástól, rendszerint kettős csővezetékkel összekötve. Ez gyártási, üzemeltetési és karbantartási szempontból is nagyon kedvezőtlen.

A vizsgált szervokormány rendszer fajták tehát a tengelyterhelés, a jármű biztonsági igényei és a kormányzás gyakorisága alapján oszlanak meg a járművekben. Az alapvető járműtechnikai igényeket mindegyikük kielégíti. Jelentős különbség építésmódjukban (kompakt és szétszórt), valamint az energiafogyasztásban van közöttük.

---

## **3. A kormányzott rendszerek modellezése**

A teljes kormányrendszer modellezéséhez a kormánykeréktől a kormányzott kerekek gumibroncsainak útburkolattal kapcsolódó felületéig terjedő mechanikai rendszert kell figyelembe venni. A gyakorlatban a legnagyobb számban a kéttengelyes kétnyomú járművek terjedtek el, tehát a járművet jellemző fizikai mennyiségek a modellezésnél jó, ha ilyen járműből származnak. A kormánymodell kialakításakor a szerkezet olyan részekre tagolható, amelyek egyrészt jellemzőek a valóságos berendezésre, másrészt működésüket leíró fizikai mennyiségek szemléletes és megoldható egyenletrendszerbe foglalhatók.

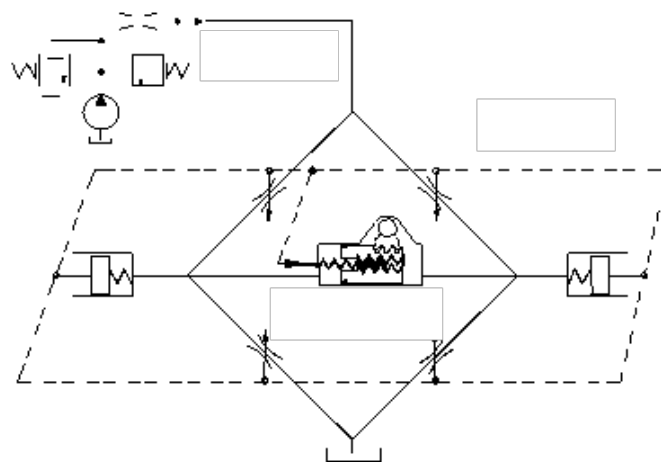


A kormányberendezés mechanikai modellje

Mivel az egyik alapvető célkitűzés új típusú haszongépjármű szervokormány rendszerbe állítása, ezért olyan kormánygép modellezésével kell foglalkozni, amely ezeknél elterjedt. Ilyen kormánygép típus a csavarorsós berendezés, ami a nagy terhelésű autóbuszok és tehergépjárművek jellemző szervokormány fajtája.

A fentiek alapján egy a vizsgálatokra alkalmas, általánosítható szerkezeti modellt kell választani, amelyből olyan hidromechanikai modell származtatható, amely matematikailag jól leírható és a felállított matematikai összefüggés rendszer megoldható.

A vizsgálatok első fázisában célszerű a már kivitelezett, jól bevált rendszerek modelljét felépíteni, amelyek paraméterei pontosan mérhetők és számíthatók, valósághűsége mérésekkel jól ellenőrizhető.



Hidraulikus szervokormány általános elvi modell

A hidromechanikai modellek alaptulajdonságai:

- többszabadságfokú dinamikai modellek, amelyek a gyakorlati működési határokon belül figyelembe veszik a rendszerben fellépő száraz súrlódás állandó és terhelésarányos komponenseit

- a járművekben alkalmazott gumiabroncsok viselkedését kísérleti eredmények alapján kapott közelítő összefüggés [Pacejka] írja le
- a hidraulikus rendszerben a fojtásokon áramló folyadék turbulens áramlását feltételezik
- a fojtások átfolyási tényezőit az alkalmazott benyomások közelítésével kapott nem lineáris függvények adják
- a hidraulikus modell figyelembe veszi a rendszer és a folyadék rugalmasságát

A modelleket leíró matematikai összefüggések egyáltalánosan, nem lineáris, másodrendű inhomogén differenciálegyenlet-rendszert adnak.

---

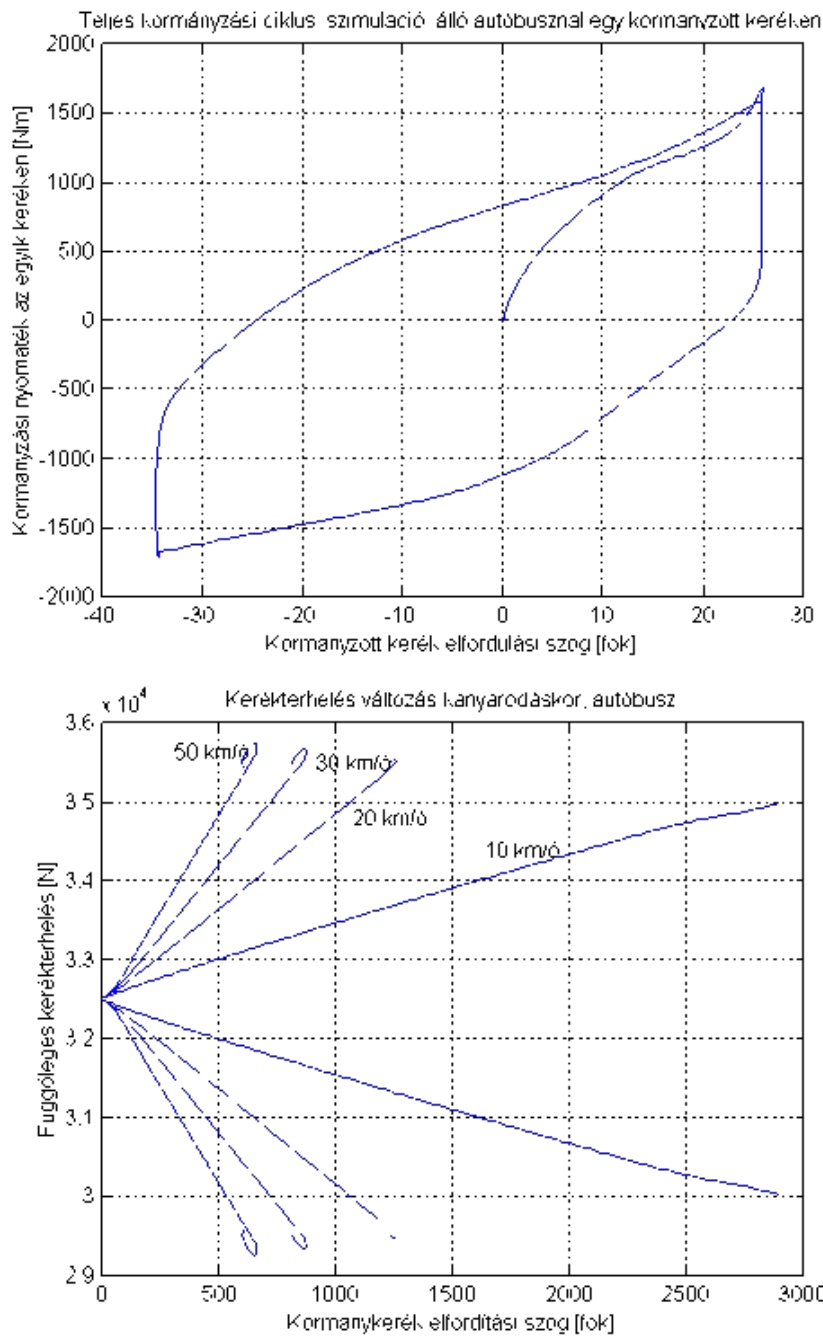
#### **4. A modell összefüggések megoldása analóg programokkal**

A felállított differenciálegyenlet-rendszer megoldásai időtől függő fizikai mennyiségek, amelyeket egy analóg elven működő számítógépes fejlesztő-program segítségével készített programokkal lehetett megoldani. Az eszköz-program neve MATLAB SIMULINK, amit analóg rendszerek megoldására fejlesztettek ki. A kifejlesztett programok a differenciálegyenletek megoldásait időfüggvények formájában adják meg. A programkészítés az analóg számítógépek programozásához hasonlóan, különböző matematikai eljárások blokkokban való beépítésével, illetve összekapcsolásával történik. Az egyenletek mindegyike egy-egy önálló blokk láncolatot képez, amelyet egy tömbben lehet egyesíteni. Az egyenletrendszer egyenleteit reprezentáló blokkok összekapcsolásával képezhető a teljes rendszer. Az egyes tömbök külön-külön kipróbálhatók, javíthatók és megváltoztathatók. A programszerkezet nagy előnye, hogy az eredmények a programfuttatás alatt a beépített oszcilloszkóp-képernyőkön megfigyelhetők és a rendszerbe a futtatás alatt is be lehet avatkozni, pl. a paramétereket meg lehet változtatni. A programok futtatása valóban a tényleges rendszer szimulációja, hiszen az időbeli folyamatok ugyan a valóságosnál lassabban de a valóságot közelítve, megfigyelhetően játszódnak le.

A teljes programrendszer összeállítása előtt alrendszerek - csoportok - képezhetők az egyes tömbökből, gyorsabb tesztelésre és javításra adva lehetőséget. Az egyes tömbök és csoportok vizsgálata alkalmas az egyenletek paramétereinek pontosítására, megváltoztatására és a változtatások hatásainak vizsgálatára.

A MATLAB SIMULINK program a differenciálegyenlet-rendszerek megoldására többféle lehetőséget kínál fel. Ezek közül a diszkrét tömegpontokból álló, nagy merevségű kapcsolatokkal rendelkező rendszerek differenciálegyenleteinek a megoldására ajánlott, változó lépésközű ode 23s jelű módosított Rosenbock eljárás alapuló egyenletmegoldó rendszer biztosította leginkább a futtathatóság feltételeit. A legnagyobb és legkisebb lépésköz valamint a szimulációs időtartam, mint szimulációs paraméterek megválasztására a program lehetőséget ad. A szimulációs paramétereket mindig az adott rendszer sajátosságainak illetve a későbbiekben feldolgozandó függvényekkel szemben támasztott követelményeknek megfelelően, futtatás előtt lehet beállítani.

Jellemző függvények a program használhatóságának a szemléltetésére, a modell helyességének igazolására:



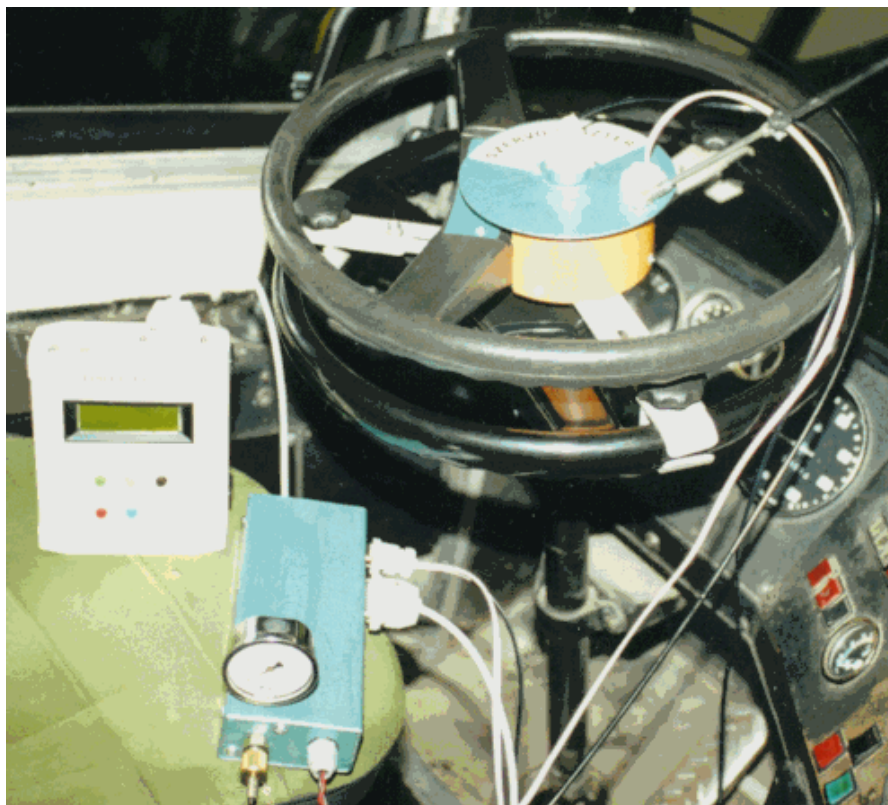
Az analóg program futtatásának származtatott eredményei

## 5. A szimulációs vizsgálatok eredményei valósághűségének ellenőrzése

A felállított rendszerek paramétereinek meghatározása, és azok valósághűségének ellenőrzése a rendelkezésre álló mérési eredmények és elvégzett mérések alapján történtek. A szervokormányok fejlesztésének, gyártásának nagy hagyományai vannak Magyarországon (AUTÓKUT, Csepel Autógyár), amely jelentős kutatás fejlesztési tevékenységen alapulnak. Ennek egyes eredményeit a Csepel Autógyár a jelen kutatáshoz rendelkezésre bocsátotta, illetve hozzájárult a gyári eszközök mérésre való felhasználásához. Ennek alapján gyári laboratóriumi és üzemi mérési eredményeket lehetett felhasználni. A mérések kiterjesztése a Széchenyi István Főiskola Közúti és Vasúti Járművek tanszékén kifejlesztett hidraulikus mérőberendezéssel, valamint a járművek kormányzási viselkedésére alkalmas SZERVOTESZTER elektronikus kormányvizsgáló készülékkel történt.

A paraméter meghatározáshoz valamint a modell valósághűség ellenőrzéshez

személygépkocsi dinamikai mérések is történtek a holland HTS Autotechniek főiskolai fakultás támogatásával.



SZERVOTESZTER kormányvizsgáló készülék autóbuszban

---

## 6. Hidraulikus szervokormányok összehasonlító stabilitásvizsgálata

A hidraulikus szervokormány és a kapcsolódó járműegységek, valamint a teljes jármű által alkotott dinamikai rendszer stabilitásának fogalma többféleképpen értelmezhető. A gyakorlatban stabilnak tekintjük a rendszert, ha valamilyen külső gerjesztés hatására aperiodikus átmenettel egyensúlyi állapotba jut. Elvárjuk, hogy egyensúlyi helyzete számszerűen meghatározható legyen és periodikus gerjesztés hatására a rendszer fizikai mennyiségei adott maximum értéket ne lépjenek túl. A gyakorlati stabilitásnál bővebb a fizikai, aszimptotikus stabilitás, amely szerint a rendszer aszimptotikusan stabil a nyugalmi állapot környezetében, amennyiben állandó vagy csökkenő amplitúdójú periodikus mozgást végez.

A modellek matematikai összefüggései lehetőséget adtak a felállított rendszerek fenti aszimptotikus stabilitásvizsgálatára. A nem lineáris, inhomogén, másodrendű differenciál egyenletekkel leírható hidromechanikus rendszerek stabilitási viszonyainak egyik lehetséges vizsgálati módszere a leíró egyenletrendszer nem lineáris és lineáris függvényeinek szétválasztásán alapul. A stabilitási számításokat ennek alapján a Perron segítségével lehetett elvégezni. A stabilitásvizsgálat az egyes paraméter tartományok üzemi határainak kijelölését tette lehetővé mindegyik vizsgált szervokormány rendszernél. A vizsgálatokból az is kiderült, hogy a zárt alapállapotú rendszer stabilitási hajlama nagyobb, mint a nyitott rendszereké és ez használhatóságának jelentős korlátja lehet.

A stabilitás vizsgálatok alapján továbbszűkített fizikai jellemzőkkel lehetett a szakaszos táplálású kormányok járművel együtt való viselkedését vizsgálni. Az álló, lassan és nagy sebességgel haladó jármű, valamint a rendkívüli helyzetek: gumibroncs defekt, hirtelen kormányzási manőver, baleset vizsgálatára is alkalmas szimulációs modellben a választott kormányrendszerek mindegyike megfelelőnek bizonyult.

---

## 7. Szakaszosan táplált hidraulikus szervokormányok vizsgálata, új rendszerek

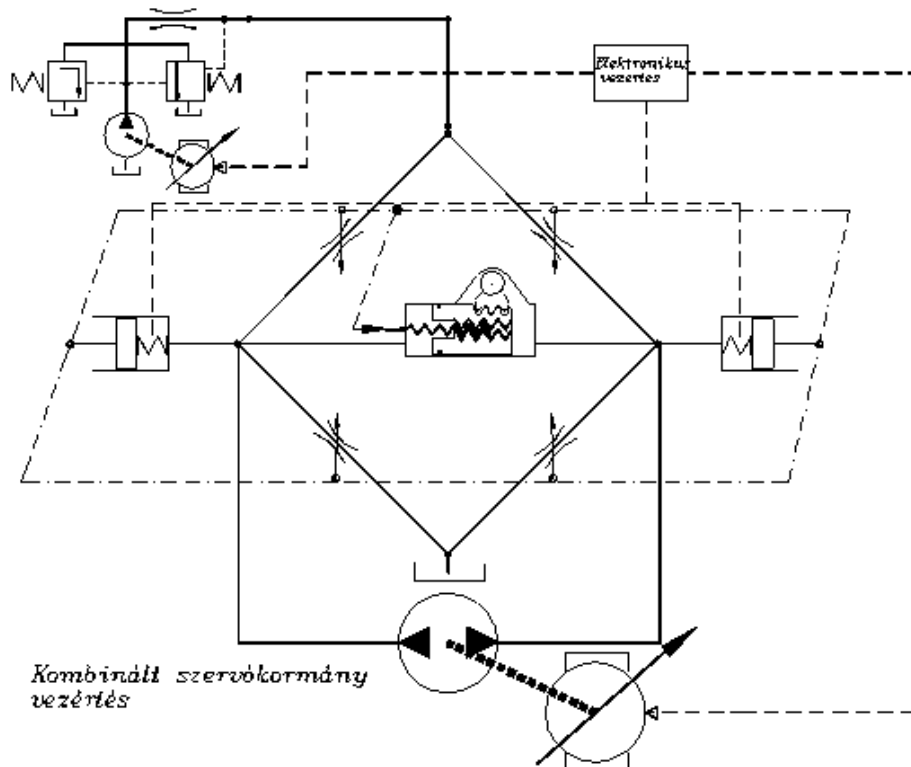


## felvetése

A kompakt építésmódra való törekvés a hasznójárműveknél is egyre fontosabb ezért a kormányrendszerek megújításának egyik jó lehetősége az elektromosan hajtott szivattyúval rendelkező hidraulikus szervokormány rendszerek bevezetése. Mind nyitott, mind pedig zárt alapállapotú rendszer alapján véve használható lehet kompakt hidraulikus szervokormány használatára a hasznójárművekben. A legkevesebb változtatást a kormánygépen, illetve a táprendszer kialakítása szempontjából egyszerű megoldást a szakaszosan táplált nyitott rendszer bevezetése jelenti. Gyakorlati megfontolás alapján a legcélszerűbbnek ennek a rendszernek az elsődleges vizsgálata látszik. A vázolt vizsgálati módszerekkel történt ennek a kormányrendszernek a szimulációs elemzése. A szimulációs eredmények bizonyítják a rendszer alkalmasságát a nagy tengelyterheléseknél is, megfelelő módosításokkal. Az elfogadható üzemi jellemzőkkel rendelkező szakaszos táplálású kormány kétfokozatú hajtással, és hidraulikus akkumulátor alkalmazásával használható nagy terhelésű járművekben.

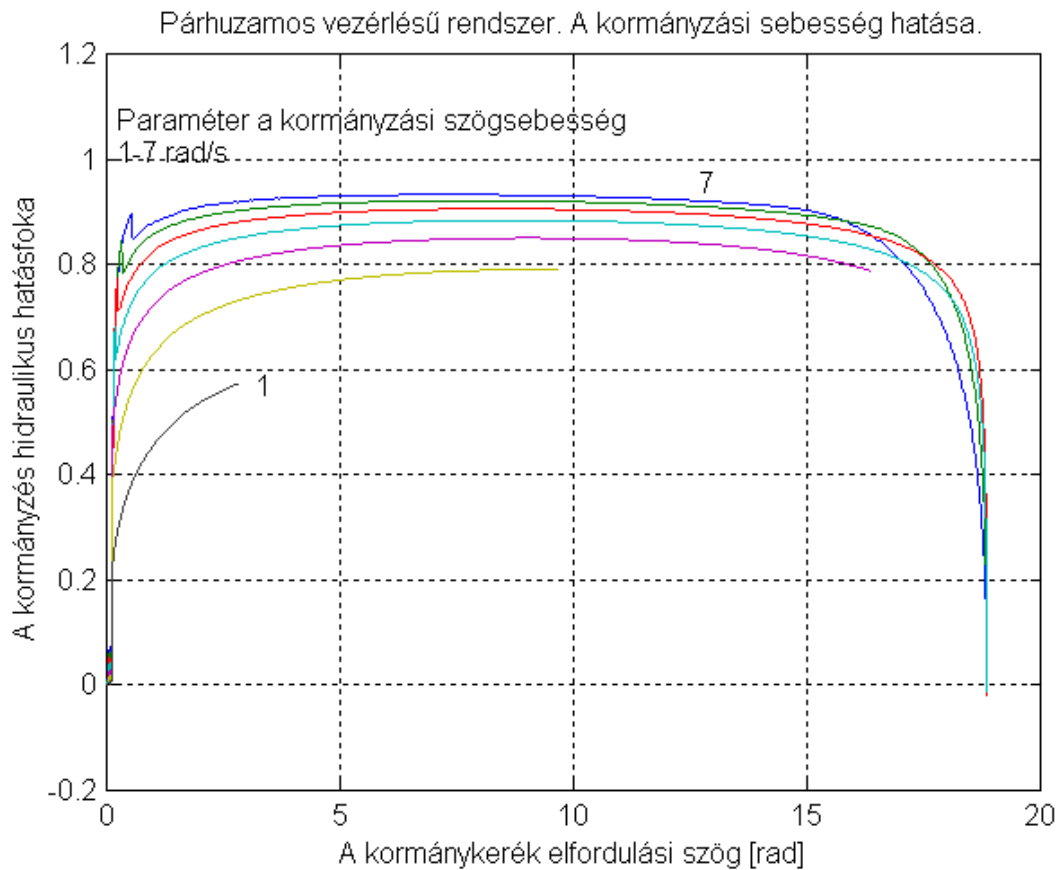
A vizsgálatok tapasztalatai alapján elvi szinten felvetődött egyszerűbb építésű hidraulikus szervokormányok alkalmazási lehetőségeinek az elemzése. Ilyen, eddig nem használt rendszerben a vezérlés tisztán elektronikus úton valósítható meg, és a kormánygépben csak a munkahenger lenne hidraulikus részegység. A vezérlés a szivattyú térfogatáramát változtatja a kormányzási sebesség, illetve a nyomaték függvényében. Gyakorlatilag a rendszer az elektromechanikus szervokormányokhoz hasonlóan működik, a rásegítés azonban nem mechanikus, hanem hidraulikus úton kapcsolódik a kormánygéphez. A vezérlés kulcsmennyiségei: a rendszer rugalmassága, a villanymotor és kapcsolódó hajtómű tehetetlenségi viszonyai és az elektromos-elektronikus-mechanikus szabályzó kör késedelme. Korlátos a közvetítő folyadék húzhatósága, amely a rendszer megfelelő előfeszítésével oldható fel.

Bár bonyolultabb építést igényel, de elvi szinten jobban megvalósíthatónak látszó párhuzamos rendszer szimulációs vizsgálataira is sor került. Ebben egy a fent említett közvetlenül elektronikus vezérelt, és egy hagyományos részvezérlésű kormány sorba kötésével kialakított szervokormány elemzése történt. Az eddig még nem használt rendszer működési jellemzőit tekintve jobbnak bizonyult a közvetlen vezérlésű rendszernél. Működését tekintve ez a hidromechanikai rendszer bizonyult a legmegfelelőbbnek az összes szimulációs modell vizsgálata alapján.

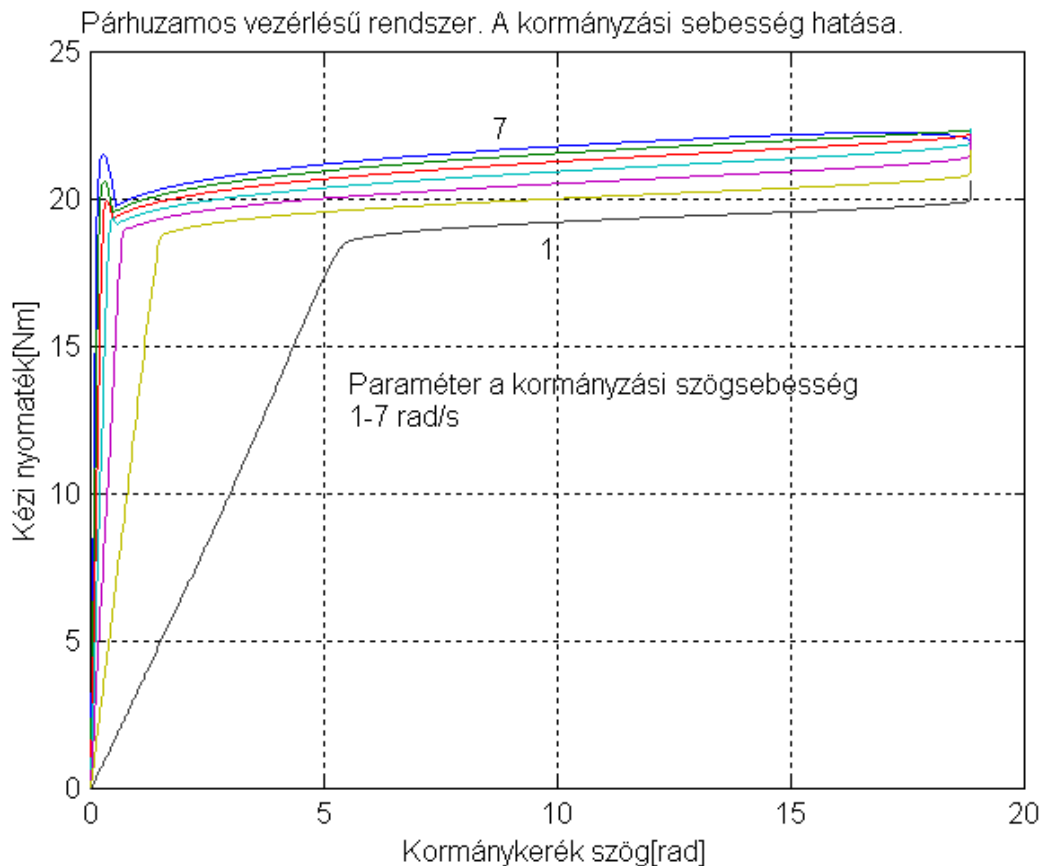


## Párhuzamos vezérlésű hidraulikus szervokormány

A vizsgálati eredmények egy a párhuzamos rendszer működését szemléltető diagram párja látható a következő két ábrán. A szinuszos kormánykerék szögelfordulás bemenet esetén felvett szimulációs diagramok mutatják a berendezés jellemző mennyiségeit. A kormányzási nyomaték ugyan eltér a korábbi rendszereknél szokásosnál, és eltérő kormányzási érzetet ad, azonban ez megfelelő arányosító nyomatékkal javítható. A berendezés hidraulikus hatásfoka nagyon jó, és ez megfelelő alacsony energia szintű üzemeltetést tesz lehetővé.



Párhuzamos táplálású kormány kézi nyomatékának függése a kormányzás sebességétől



Párhuzamos táplálású kormány kormányzási határfoka különböző kormányzási sebességnél

A párhuzamos rendszerben alkalmazott kis térfogatáramú állandóan hajtott szivattyú a tartós energia felhasználás szintjét alacsonyan biztosítja.

## 8. A hasznójárművekben alkalmazható hidraulikus szervokormány rendszerek összehasonlítása

A hasznójárműben való alkalmazás szempontjából történt szimulációs vizsgálatok összegzése alapján az elemzett kormányrendszerek táblázatos összehasonlítása alapján az alábbi sorrend alakult ki:

- közvetlen térfogatáram szabályzású hidraulikus szervokormány
- párhuzamosan kötött közvetlen térfogatáram szabályzású, és nyitott részvezérlésű hidraulikus szervokormány
- hagyományos folytonosan táplált nyitott részvezérlésű hidraulikus szervokormány
- szakaszosan táplált elektrohidraulikus zárt alapállapotú részvezérlésű hidraulikus szervokormány
- szakaszosan ill. több fokozatban táplált elektrohidraulikus nyitott részvezérlésű hidraulikus szervokormány

A vizsgálatok lehetővé tették annak eldöntését, hogy mely járművekben lehet célszerű az egyes felvetett kormányrendszerek alkalmazása. A közvetlen vezérlésű rendszer versenyképes lehet a személygépkocsikban, a párhuzamos rendszer pedig minden hasznójárműben. Az elektrohidraulikus rendszerek korlátja a nagy tengelyterhelés és a gyakori, nagy szögtartományú kormányzás. Az ilyen jellemzőkkel rendelkező járművekben a hagyományos folytonos kormánygépek használhatók a legmegfelelőbbben.

---

## A kutatást összefoglaló új tudományos eredmények a következők:

1. A vizsgálatok alapján annak megállapítása, hogy a szimmetrikus alapállapotú hidraulikus szervokormány rendszer fojtórési geometriai méreteinek csökkentésével aszimmetrikus alapállapotúra alakított szervokormány vezérlés vezetési tényezői a kormányzás ergonómiai igényeinek megfelelő törésmentes, és a kormányzási ellenállás növekedésének függvényében monoton növekvő kézi nyomaték függvénynek adnak.
2. Új konstrukciójú, 25 kN feletti kerékterhelésű járműveknél számítógépes szimulációval igazoltan alkalmazható zárt alapállapotú, szakaszosan táplált, nyomástárolós szervokormányrendszer, és annak hidraulikus szeleprendszerének a kifejlesztése.
3. Nem lineáris differenciálegyenlet-rendszerrel leírt zárt és nyitott alapállapotú hidraulikus szervokormány rendszerek egyensúlyi környezetében vett, **aszimptotikus stabilitási feltételeinek a meghatározása** a gyakorlatban használt üzemi nyomás tartományban, legfeljebb 40 kN kerékterhelésű közúti gépjárművekre a kormányrendszereket jellemző fizikai mennyiségek figyelembe vételével. A stabilitási vizsgálat alapján kimondható, hogy a vezérlőrugó redukált merevségének alsó stabilitási határa az összes felsorolt paraméter függvényében számszerűen a zárt rendszereknél nagyobb a megadott fenti üzemi nyomástartományban, mint a nyitott rendszereknél. Ez azt jelenti, hogy a legkisebb kézi nyomaték zárt rendszereknél éppen az ergonómiai határon van, míg a nyitott rendszereknél a stabilitást nem veszélyeztető kevésbé merev rugó alkalmazhatósága miatt, kisebb erővel lehet kormányozni a stabilitási határon belül.
4. A stabilitási vizsgálat alapján annak megállapítása, hogy a dugattyú száraz súrlódásának állandó, és terhelésarányos komponense nem befolyásolja a zárt állapotú kormánygép aszimptotikus stabilitási viszonyait, a súrlódás normál működést feltételező felső határáig, a gyakorlatban előforduló nyomástartományban.
5. Annak számszerű igazolása, hogy a szakaszos táplálású nyitott alapállapotú hidraulikus szervokormány rendszernél akkumulátoros üzem esetén a hidraulikus akkumulátor kiürülési sebessége, illetve a szivattyú meghajtás bekapcsolási gyakorisága a szimmetrikus réselrendezésű rendszereknél a kormányzási sebesség növekedésével jelentős mértékben növekszik, míg az aszimmetrikus alapállapotú rendszereknél ez a folyamat jóval kisebb mértékű, tehát a szakaszos üzemeltetés számára az aszimmetrikus kialakítású vezérlőrés - rendszer kedvezőbb.
6. Annak megállapítása, hogy a két fokozatban meghajtott szivattyúval táplált aszimmetrikus alapállapotú hidraulikus szervokormány rendszerrel meghatározható egy olyan energia minimumot eredményező, adott legnagyobb kerékterheléshez tartozó, legkisebb első fokozati térfogatáram érték, amelynél a kézi nyomaték függvény még törésmentes lefolyású. A megfelelő kormányzási érzetet adó törésmentes kézi nyomaték függvény kialakulásának szükséges feltétele még, hogy a második fokozat térfogatárama legalább a dugattyú határsebességhez tartozó nagyságú legyen.
7. Annak kimondása, hogy a nagy tengelyterhelésű járművekben használható közvetlen elektronikus térfogatáram szabályzású elektrohidraulikus szervokormány rendszer technikai stabilitásának határa egy a szimulációval számszerűen meghatározható (meg is határozott) szivattyú vezérlési késedelemnél van. Ezen késedelem felett a rendszer nem megengedhető periodikus átmenettel csillapodik, illetve növekvő amplitúdójú nyomáslengésbe kezd.
8. Annak megállapítása, hogy az összes használatban lévő, és igazoltan használható hidraulikus szervokormány rendszer közül a 25 kN feletti kerékterhelés feletti

járművekben a működés szempontjából legkedvezőbb hidromechanikus rendszere az eddig még nem használt, közvetlen elektronikus térfogatáram szabályzású, és ezzel párhuzamosan kötött részvezérlésű elektrohidraulikus szervokormányoké.

9. Annak megállapítása, hogy a közvetlen elektronikus térfogatáram szabályzású, és ezzel párhuzamosan kötött részvezérlésű elektrohidraulikus szervokormány rendszernél a kormányzás legnagyobb és átlagos hidraulikus hatásfoka minden üzemállapotban jóval nagyobb, mint az aszimmetrikus alapállapotú vezérléssel rendelkező hidraulikus szervokormányoké.
10. Annak megállapítása, hogy a közvetlen elektronikus térfogatáram szabályzású, és ezzel párhuzamosan kötött részvezérlésű elektrohidraulikus szervokormány berendezés hidromechanikus rendszere a számítógépes szimulációval igazoltan a jármű biztonságát és az ergonómiai feltételeket megfelelően biztosítja, ha a szabályzás nem a szokásos kormányzási nyomaték, hanem a kormányzási szögsebesség követésén alapul.

---

### ***A szerzőnek, a kutatás témakörében megjelent publikációinak a jegyzéke***

1. **Nyomástárolós szervokormány használatának elvi lehetősége**  
előadás, HIRŐS Járműipari konferencia Kecskemét, 1995.
2. **Gépjárművek kormányberendezésének dinamikai szimulációja**  
Járművek Építőipari és Mezőgazdasági Gépek, 1996 május, 11-13. old.
3. **Application of Hydraulic Power Steering with Pressure Reservoirs in Buses**  
előadás és kiadvány szakcikk a XVII. Nemzetközi Autóbusz Konferencián, Budapest, 1996, 149.-164. old.
4. **Nyomástárolós szervokormányok alkalmazhatósága**  
Egyetemi doktori értekezés, BME 1996.
5. **Haszonjármű szervokormányok diagnosztikai és vizsgálati lehetőségei**  
Auto Diga Haszonjármű Konferencia előadás Győr SZIF 1996 június 1.
6. **Hidraulikus rendszerek szimulációja grafikus programnyelvekkel**  
HIDRAULIKA-PENUMATIKA OKTATÓK VI. ORSZÁGOS TANÁCSKOZÁSA Sopron 1997 július 7-9.
7. **Analyses of a CCE Power Steering's Stability by a Simple Method**  
VSDIA '98 6-th Mini Conference on VEHICLE SYSTEM DYNAMICS, IDENTIFICATION AND ANOMALIES Budapest. 1998 nov. 7-11. Proceeding page 283-295
8. **Asymmetric control valve application at hydraulic power steering of buses**  
Proceedings of the 30-th Meeting of Bus and Coach Experts, Győr 24-26. August, 1999. 2. Volume page 85-92.
9. **Elektrohidraulikus szervokormány alkalmazási lehetősége haszonjárművekben.** Járművek 46. évf. 9. sz. 1999. szeptember 19-22. oldal
10. **dr. István Lakatos, dr. Zoltán Varga Effects of Some Differences Of the Sizes of Ball Threads on the Operation of the Thread.** Hungarian Electronic Journal. 2001. május.
11. **Merev mellső kerékfelfüggesztésű járművek kormányzási nyomatékigényének tervezése** Járművek. 48.évf.1-2.szám 32-38. old. 2001. február.
12. **A kormányzás műszaki biztonsága - Hidraulikus szervokormányok vizsgálata**  
Előadás. IbB-IRU XVIII. Nemzetközi Haszongépjármű Biztonsági Kongresszus Tata 2001. szeptember 20-21. III. szekció terj: 9 oldal. Kiadvány CD rom-on.
13. **Comparison of the steering properties of front axles of commercial vehicles**  
Járművek. 48.évf. 10. szám 268-271. old. 2001. október
14. **Alternatives of the hydraulic servo steering systems in commercial vehicles**  
Hungarian Electronic Journal. megjelenés alatt.