



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Villamos energetika Tanszék**

**Ritkaföldfém és magashőmérsékletű szupravezető  
állandómágneses szinkron cső motor/generátor optimalása  
személygépjármű felfüggesztés komponenseihez**

**Ph.D. értekezés Tézisei**

Zádor István

Konzulens:

Dr. Vajda István  
Egyetemi tanár, tanszékvezető  
Villamos Energetika Tanszék

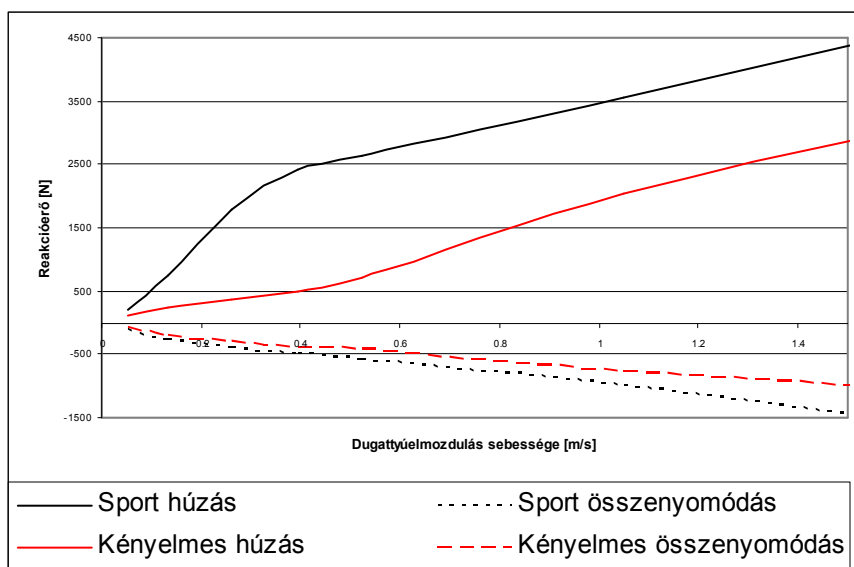
Külső konzulens:

Dr. Palkovics László  
Egyetemi tanár  
Knorr-Bremse R&D központ Budapest

Budapest, 2008

## 1. Bevezetés és célkitűzések

Korunk járműipari fejlesztései: az elektronikus fék, ABS, ESP, elektronikus kormány, az X-by-wire rendszerek a járművezérlő egységek villamos hajtásának fokozott alkalmazását vetítik előre. Ennek következménye, hogy a jelenlegi hagyományos rendszereket, mint a felfüggesztés, váltó, ablaktörlő, fényszóró is fokozatosan felváltják az automatikus és vezérelhető elektronikus rendszerek. A felfüggesztéseknél a vezérelhetőség a rugóval párhuzamosan működő lengéscsillapító keménységének vezérlésével valósítható meg. A lengéscsillapítók adott dugattyúsebességre reagálnak különböző nagyságú reakcióerővel, avval, hogy a lengési energiát hővé alakítják. A hagyományos hidraulikus lengéscsillapítók csupán egyetlen erő-karakterisztika megvalósítására képesek, ami kompromisszumot jelentett a biztonság (nagy reakcióerő) vagy az utaskényelem (kis reakcióerő) szempontjából.



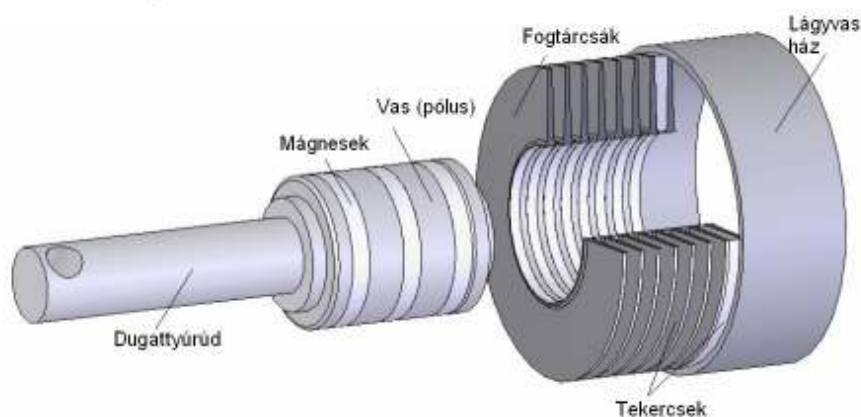
**1. ábra: Lengéscsillapító erő-karakterisztika**

Ezen meglévő hagyományos rendszerek vezérelhetősége igen bonyolult, költséges és sok esetben nem is elegendően gyors. Éppen ezért egyre több kutatás témája a hidraulikus, pneumatikus, villamos és mágneses elvű vezérelhető lengéscsillapítók fejlesztése. Jelenleg a világon fejlesztés alatt álló vezérelhető lengéscsillapítók - melyek főleg levegős, olajos, rheologikus folyadék alapúak - között csupán a BOSE cég foglalkozik az elektromágneses lengéscsillapítókkal. A rendszer komponense egy állandó mágneses szinkron csőmotor, amely megvalósítja a jármű aktív felfüggesztését, tehát az eszköz a rúgó ellenében is képes aktuátorként hatni. Lehetőség nyílik a motoros és a generátoros üzemre, mely utóbbi lehetővé teszi a jármű lengési energiája egy részének kinyerését, mely energiát felhasználva motoros üzemben használható a jármű túlsó oldalán elhelyezett egység. A rendszerről részletes adatok nem érhetőek el, csak prototípus formájában működik és szakemberekkel is egyeztetve véleményem szerint összetettsége illetve költségessége miatt kétséges az elterjedése.

Ezen témakör jelen helyzetét látva éreztem úgy, hogy egy pusztán generátoros üzemben működő állandó mágneses csőmotor megfelelő konstrukciójával jelentős költségcsökkenés érhető el, ami azonban funkcióiban teljesíti a fél-aktív módon vezérelhető és energia visszatápláló lengéscsillapító követelményeit.

Az állandómágneses villamos generátorok egyre szélesebb körben kerülnek járműipari felhasználásra, hiszen a mágnesek és a vezérlő elektronika egyre olcsóbban beszerezhető. Ezen gépek előnyei, hogy nincs szükség a forgórészre bevitt energiára, kedvező a gép energiasűrűsége és hatásfoka. Forgógépekkel megegyező felépítésűek de lineáris mozgást

végző gépek az úgynevezett lineáris vagy cső- motor/generátorok. Ilyen elven működő csőmotor egy jellegzetes (általában használt) felépítését a 2. ábrán mutatom be.



**2. ábra: Állandó mágneses szinkron csőmotor felépítése**

Jelenleg csőmotorokat főleg aktuátorként (motoros üzem) alkalmaznak kis helyen megvalósítható lineáris elmozdulásokra, de alkalmazásuk még nem széleskörű. Esetemben a csőmotor tervezés elméleti fejlesztését a jármű lengéscsillapítókénti - felhasználás specifikus konkrét igények indukálták.

A magashőmérsékletű szupravezető anyagok (MHS) felhasználhatóak csőmotorban állandó mágnesként a mozgórészen és hipotetikusán az állórészen huzalként (rézvezető helyett). Mivel a jelenleg létező huzal anyagok nem alkalmasak a nagy mágneses terek illetve a váltakozó feszültségű használatra és veszteségük is igen magas, vizsgálataimban csupán a mozgórészen alkalmazott állandómágneskénti alkalmazást modelleztem, mely előnye a ritkaföldfém mágnesekhez képest, a lényegesen nagyobb befogható mágneses tér. Ez a feltevés és vizsgálat szinkron csőmotorokban a világon egyedülálló, ahogy a mozgórészen kontra-polár (egymással szembefordított) elhelyezkedésük és mágneses hatásaik vizsgálata is, melyet szintén vizsgáltam mérések és modellezés szintjén.

Doktori munkámban egy állandómágneses szinkron csőmotor tervezésével foglalkoztam, rendszer optimalizálását végeztem el személygépjármű lengéscsillapító alkalmazásra, ami az egyszerű vezérelhetőség mellett a lengési energia részbeni visszatáplálására is alkalmas. Megvizsgáltam a felhasználási lehetőségeiket az MHS mágneseknek (mozgórészen), melyek jellemzően 77 K üzemi hőmérsékletű hűtést igényelnek. Elkészítettem az állandó mágneses csőmotor/generátor személygépjármű lengéscsillapító alkalmazásához a tervezési eljárást analitikus mágnes-kör modell és végelelemes szimuláció alkalmazásával. A tervezés során optimalizáltam a gép mozgó- és állórész sugár- és hosszirányú méretei arányának befolyását a reakcióerőre, amit eddig nemzetközi szinten még nem publikáltak. A tervezésnél peremfeltétel volt a lengéscsillapító befoglaló mérete és az alkalmazott mágnesek legnagyobb energiaszorzatú ponton történő működése. A modell célja: egységnyi térfogatból kinyerhető, lehetőség szerinti legnagyobb csillapító erő elérése volt. Vizsgáltam továbbá a gép jellemző ciklikus terhelése (futómű igénybevétel) közben a melegedést, mely fontos szerepet játszik a rendszer teljesítménye, hatékonysága és élettartama szempontjából.

Az MHS anyagok jellemzője, hogy mágneszettségük függ a külső mágneses tértől és az időben változó (relaxáció). Vizsgáltam a működést jellemző paraméterek hatását a relaxáció folyamatára, és a kontra-polár elrendezésű MHS tömbök között kialakuló mágneses tér eloszlását. A MHS csőmotor paramétereit a korábban elkészült és átalakított modellek segítségével számoltam.

Munkám eredménye tehát egy olyan szimulációs modell, mellyel meghatározható a változó igények és anyagparaméterek beadásával az optimális geometriájú (maximális

reakcióerőt eredményező) állandó mágneses vagy szupravezető tömböket alkalmazó mozgórészű szinkron csőmotor a járművek lengéscsillapítójaként.

Mindezeknek megfelelően munkám során feltártam az állandó mágneses szinkron csőmotor fékezőerejét befolyásoló paramétereket és azok interrelációját.

## 2. A kutatás módszertana

Kutatásom első lépéseként kísérleti modelleken végzett méréseket végeztem ritkaföldfém állandómágneses rendszereken. Méréseimet végeselemes szimuláció (QuickField kereskedelemben kapható szoftver) segítségével igazoltam. Megismerkedtem a mozgó állandó mágnesesek és a villamosan vezető anyagok, főként a réz hengergyűrűk között kialakuló kölcsönhatásokkal. Egyszerű mágnes rendszereken vizsgáltam a indukált feszültség következtében kialakuló örvényáram által kifejtett fékező erőt a mágnesre.

Ezt követően analitikus modellt (mágnes kör) készítettem, mellyel adott bemeneti paraméterek és anyagjellemzők figyelembevételével kiszámolhatók a geometriai paraméterek a kívánt bemeneti paraméterek egyidejű eléréséhez. A megkapott geometria végül két dimenziós (tengelyszimmetrikus) végeselemes szimulációban diszkrét lépésenkénti mozgatóskor indukált feszültség következtében kialakuló erőt és egyéb mágneses és villamos paramétereket szolgáltatott. Ezen paramétereket egy általam tervezett prototípuson végzett mérésekkel igazoltam, melynek gyártásához technikai segítséget kaptam. A modellek validálása után elvégeztem a csőmotor és lengéscsillapító specifikus optimalizálást. Ezt követően végeztem kísérleti méréseket MHS állandó mágneseken, melyeknél a lengéscsillapítóbani alkalmazás feltételeit (relaxáció, átmágnesezés) vizsgáltam. Az elkészült modellek átalakításával lehetőség nyílt ezen MHS rendszer modellezésére is, mely lehetővé tette az azonos befoglaló méretű feltétel alapján az összehasonlítást.

Ezen két modell segítségével a közel lineáris karakterisztikájú állandó mágnesek és lágymágneses anyagok alkalmazásával, tetszőleges befoglaló méretből meghatározható a rövidebbre zárt ritkaföldfém illetve MHS állandó mágneses szinkron csőmotor fékezőereje, üresjárású feszültsége és zárlati árama több más paraméter mellett.

## 3. Új tudományos eredmények összefoglalása

### 1. tézis

***Mérésekkel alátámasztott modellekkel igazoltam, hogy azonos befoglaló méretű, konstrukciós kialakítású és azonos légrés indukciójú szinkron csőmotor/generátorral az elérhető maximális teljesítményt akkor kapjuk, ha a mozgórészen elhelyezett, egymással szembefordított állandó mágnesek a maximális energiaszorzatú munkaponton üzemelnek..[1]***

A mágnesek munkapontját a körülötte elhelyezkedő mágnes-kör ellenállása szabja meg. Vizsgálataimban kitértem a munkapont reakcióerőre gyakorolt hatásának elemzésére. Összehasonlításom alapja az azonos térfogatból elérhető fékezőerő volt. Mivel kontrapolár elrendezésű mágnes-rendszert alkalmaztam a mozgórészen, belátható, hogy a mágnes munkapontjából következő felületi indukcióértéktől és a mágnesek között elhelyezkedő lágvas korong vagy gyűrű (pólus) méreteitől függ a pólusfluxus. Figyelembe véve az alkalmazott lágvasak B-H görbét, a kötött méretű mozgórészen elhelyezhető pólusok mennyiségét, az állórészen elhelyezett tekercsek és fogak méreteit, számos összefüggés figyelhető meg. Ezen összefüggéseket vizsgáltam, és a reakcióerő szempontjából optimalizáltam is. Az összefüggések modellezésekor prototípuson végzett mérésekkel igazoltam a szimulációk helyességét. Fontos szempont a mágnesek (NdBFe) összes térfogata is az ár szempontjából, hiszen a szerkezetnek ez a legjelentősebb anyagi erőforrást igénylő eleme.

**2. tézis:**

**Matematikai összefüggést állítottam fel az állandó mágneses csőmotorok generátoros üzemben kialakuló fékezőereje és geometriai illetve aktív-anyag paramétereinek között, a lengéscsillapítókénti alkalmazhatóság lehetőségeinek feltárására. Az általam felállított matematikai modellel végzett számítások alapján bebizonyítottam és kísérleti prototípuson végzett mérésekkel támasztottam alá, hogy a személygépjárműben lengéscsillapítóként alkalmazott hornyolt, 3 fázisú N35 típusú állandó mágneses csőmotorral, melynek maximális befoglaló méretei 80 mm átmérő és 300 mm hossz, amplitúdója +/- 60 mm, optimalizálások eredményeként az elérhető maximális fékezőerőt generátoros üzemben az ehhez a tézishoz tartozó altézisekben részletezett esetekben kapjuk.**

Először analitikus modellt készítettem a mágneskör-modell segítségével. A modell bemenő paramétereit az elrendezés (gyűrű, tárcsa, vagy sugárirányban mágnesezett mágnesek), befoglaló méretek, alkalmazott légrés, mozgó- és állórész sugárirányú megosztása, fázisszám, a lágvas anyagminősége (B-H görbe) és az állandó mágnes választott munkapontja. Utóbbi az alkalmazott mágnes szobahőmérsékleten ismert karakterisztikájából meghatározott maximális energiasűrűségű pont, neodímium mágnes esetén 0.6 T. Analitikus számításaimat a QuickField (FEM) programmal ellenőriztem. A modell eredményül a gép olyan geometriai méreteit adja meg, amelynél az állandó mágnesek az előre definiált munkapontban működnek és a lágvas anyagok még éppen nem mennek telítődésbe. Az analitikus számításból megkapott geometriát felhasználva, MatLab 6.5 program alkalmazásával véges elemes (FEM) modellt készítettem. A modell célja az volt, hogy egy adott sebességen mozgó dugattyúra ható reakcióerőt kiszámolja, és így lehetővé tegye a különböző geometriák összehasonlítását. Az optimalizáláshoz meg kellett adni a lágvas anyag jellemzőit (B-H görbe), a csőmotor felépítését (gyűrű vagy tárcsa mágnesek), az állórész tekercsek rövidzárását (fázisban, vagy külön), fognyomaték csökkentő metódust (pólusferdítés, horonyferdítés), horonyzáró ék anyagát, mozgórész sebességét (lengéscsillapítóknál maximum 1 m/s) és a csőmotor hosszirányú maximális méreteit (mozgó és állórész). A modell statikus diszkrét állapotok sorozatából (mozgó rész elmozdítása) számol dinamikusan létrejövő hatásokat. Eredményül megkapjuk több más paraméter mellett az állórészben folyó rövidzárási áramokat, üresjárási indukált feszültségeket, induktivitásokat és a szerkezet indukció eloszlását. Ezen értékekből a Maxwell Stress Tenzor segítségével számolható a mozgó részre ható fékező erő.

**2.1 A 2. tézis alapján a maximális fékezőerőt akkor kapjuk, ha állórészének a hossza megegyezik a mozgó rész hosszával, a fázisellenállás és az indukált feszültség által eredményezett rövidzárási áram és a kapcsolódó pólusok felülete miatt. [2], [3]**

Már az első prototípus tervezésének fázisában felmerült a kérdés, hogy vajon milyen hosszú álló- és mozgórész lesz az optimális. Az állórész tekercselésnél ugyanis vannak olyan a mozgórész pólusaitól távol eső tekercsek, melyek az indukált feszültség képzésben nem vesznek részt. Ezek a tekercsek a fázisok rövidzárási áramát csökkentik, tehát a létrehozott fékezőerőt is. A lengéscsillapítónak +/- 6 cm elmozdulás szükséges, tehát a mozgórész hossza is (állórész maximum 300 mm) korlátozott. Ennek megfelelően készítettem el az állórész hosszának optimalizálását, ha a rotor hosszát 180 mm-re választom, hogy a 300 mm-be a 60 mm-es amplitúdó beleférjen.

**2.2 A 2. tézis alapján és a szimulációk eredményeit figyelembe véve, akkor kapjuk a maximális fékezőerőt, ha a gép mozgórészének átmérője fele a teljes motor átmérőjének. [4]**

Megvizsgáltam, hogy a generátor fékezőereje miként változik a gép állórész és mozgórész sugárirányú méreteinek arányával adott maximális méret mellett. A szimulációs eredményekből látható, hogy bármilyen elrendezést is vizsgáltam, az arány minden esetben 50%-hoz közeli megosztásnál volt a legkedvezőbb, azaz a legnagyobb fékezőerőt ezen aránynál kaptam.

**2.3 A csőgenerátorok fékező ereje gyártástechnológiai többletköltségek árán 40%-al növelhető, ha a geometriai paramétereket megtartva csupán az állórészen kialakított**

***fogak hosszirányú méreteit (eddig párhuzamos lapú gyűrű) sugárirányban kifelé folyamatosan csökkentjük olyan mértékben, hogy a fogakban az indukció értéke sugárirányban kifelé mindenhol azonos értékű legyen. [3], [5]***

A gép teljesítményének szempontjából fontos, hogy az állórész hornyokat minél jobban kitöltsék a rézvezetők, illetve, hogy minél nagyobb térfogatúak legyenek. Az állórészen elhelyezhető tekercs térfogatát növelhetjük, ha a fogak vastagságát az állórészen sugárirányban kifelé csökkentjük, úgy, hogy a fogak metszettelülete ne változzon. Mivel a lengéscsillapítónk hengeres, a fogakban az indukció értéke konstans értéken fog maradni a teljes hosszon, ha a szórást is figyelembe vesszük. Ebben az esetben tehát a hornyok térfogata megnő, így növelhető bennük az elhelyezhető tekercstérfogat, ami teljesítménynövekedést eredményez.

***2.4 Az általam alkalmazott csőgenerátor geometriai paramétereit megtartva és az egyik fázist tömör rézgyűrűk alkalmazásával rövidre zárva (az armatúra visszahatás figyelembevételével), a fékezőerő ~50 %-kal növelhető. [6]***

Közismert hogy a gép teljesítménye növelhető, ha a hornyokban növeljük a réz kitöltést. Ennek megfelelően ha a fékezőerő még mindig nem elegendő, akkor lengéscsillapító specifikus megoldás lehet a tömör rézgyűrűk alkalmazása. Ebben az esetben a rézgyűrűk egy konstans dugattyúsebességtől függő értékkel megnövelik a csillapítóerőt, a közel 100%-os rézkitöltés miatt. Ebben az esetben azonban a konstrukciós kialakításkor figyelembe kell venni az állandó mágnesek irreverzibilis lemágneseződését. A rézgyűrűk mennyiségét és helyzetét különböző képen alkalmazhatjuk a gép építésekor. Lehetőség van többrétegű tekercselést alkalmazva az egyik réteget rézgyűrűkkel megvalósítani, vagy az egyik fázishoz tartozó minden tekercsét rézgyűrűre cserélni. A szerkezettel így nagyobb reakcióerő érhető el, azonban a tekercsek mennyiségének csökkenése miatt a vezérelhető tartomány lecsökken.

### **3. tézis:**

***Analitikus és végeselemes modellekkel végzett számítások alapján bebizonyítottam és mérésekkel támasztottam alá, hogy a személygépjárműben lengéscsillapítóként alkalmazott Jc-B fogazott 3 fázisú és 77 K hőmérsékletre hűtött csőgenerátor mozgórészén alkalmazott Jc-B görbével jellemzett magashőmérsékletű YBCO szupravezető (MHS) gyűrűs mozgórészű géppel azonos fékezőerő érhető el, mint az ezen a hőmérsékleten működő N35 típusú állandó mágneses (B-H görbével jellemzett) géppel. [1], [7]***

A jelenlegi tipikus adatokkal egyszerűsített modellt készítettem a már általam korábban megalkotott modellek alapján, mely így lehetővé teszi adott térfogatból megvalósítható MHS mozgórészű csőmotor csillapító erejének számítását. Lehetőség van vasmagos és vasmentes (légrés tekercselt) kivitelű gépet is modellezni. Az MHS anyag adott hőmérsékleten a Jc-B görbéjével van jellemezve és mérések alapján készült eljárás szerint van figyelembe véve a technikai szempontból összetett relaxációja. Ezen gépeket hasonlítottam össze a hagyományos, illetve a folyékony nitrogénnel hűtött állandó mágneses gépekhez. Összehasonlításom alapja az azonos befoglaló méret volt. Felépítésükben a legnagyobb különbség hogy az MHS az árnyékoló köráramokkal jellemezhető Ennek megfelelően fő különbség a szerkezetekben a mozgórész dugattyúrúdjának anyaga, amelyet szupravezetőknél ferromágneses anyagból célszerű kialakítani, hogy a mágnes-kör ellenállása kisebb legyen. A közel azonos mágnes-kör méretezésből következik, hogy a gerjesztésük hasonló, tehát az irreverzibilis lemágneseződés veszélye következtében a fázisáram korlátozása is azonos mértékű. Ennek köszönhetően, és ezen feltételek mellett, a reakcióerők alakulása a hűtött állandómágneses illetve a szupravezető gépnél közel azonosak.

***3.1 Mérésekkel igazoltam, hogy az MHS csőmotor mozgórészén alkalmazott ~1 T maximális mágneses térre felmágnesezett és azonos pólusokkal egymással szembefordított (30 mm átmérőjű és 10 mm magas YBCO) szupravezető mágnes korongok közötti statikus***

***taszító erő 10 és 5 mm közötti összeszorításkor az időben százalékosan azonos mértékben csökken. [7]***

Ezeket a méréseket a Németországi Jénában lévő IPHT Kutatóintézet, szupravezető laboratóriumában végeztem el. A szupravezetőket (HG9 - Mo11) FC felmágnesezéssel felmágneseztem (~1,5 T mágnesező tér), majd kontra-polár elrendezésben (azonos pólusaikkal szembe fordított) mértem az egymásra ható taszítóerőt. A taszítóerő mértékét egy fix pozícióba állított robotkarra szerelt nyúlásmérő bélyeges erőmérő szenzor mérte. Az adatokat számítógép rögzítette előre beállított időlépésenként. Mérésem célja a kontra-polár elrendezésű szupravezetők viselkedésének megismerése volt. A szakirodalom csupán egyetlen magában álló MHS relaxációjának alakulását tárgyalja de nem tér ki ilyen elrendezésű (kontra-polár) MHS mágnesek átmágneseződésének alakulására. A taszítóerő csökkenéséből lehet következtetni az MHS mágnesek felületi indukció értékük változására, melynek oka a szupravezetők relaxációja és az ezen elrendezés következtében kialakuló átmágneseződés.

**4. tézis:**

***Az állandó mágnesek méretével, darabszámával és lágyvas környezetük megfelelő megváltoztatásával tetszőleges rugóerő karakterisztika megvalósítható. [6]***

Mágnese rugót úgy készíthetünk, hogy az állandó mágneseket azonos pólusaikkal szembefordítjuk. Ez általában nem eredményez stabil lebegtetést, ezért a mágneseket minden esetben meg kell vezetni, például egy csőben. A mágnesek közelítésekor azokban veszteségek alakulnak ki, melyek a lengést csillapító tényezőként jelentkeznek. Kutatásaimhoz a kereskedelmi forgalomban kapható jelenlegi legerősebb, neodímium állandó mágneseket használtam. A két mágnes között kialakuló taszítóerő meghatározására mérést, illetve analitikus és végeselemes (FEM) modellezést is végeztem. Elsőként különböző rugókarakterisztikákat valósítottam meg modell szinten, melyhez több darab mágnes korongot alkalmaztam. Ebben az esetben a rugóerő adott távolságú két mágnes között nem változik, de a több mágnes alkalmazása miatt a rugózó úthossz megnő. A karakterisztika tovább változik, amennyiben a mágnesek ferromágneses anyagú csőmotor állórészében mozognak. Ekkor ugyanis a mágnes-kör ellenállása, ami eddig levegőben nagy volt, komolyan lecsökken, mely a mágnes munkapontját megváltoztatva a mágnesek felületi indukció értékét megnöveli. Ennek okán növeli a mágnesek között fellépő erőt a levegőn működő rendszerhez képest például 0.25 mm-es összenyomódáskor ~40%-al. Ennél a rendszernél opcionálisan lehetőség van az állórészen elhelyezett tekercseket a csőgenerátoroknál bemutatottak szerint a lengési energia egy részének kinyerésére is használni. Ferromágneses hengergyűrűbe helyezett mágnes-rendszerben kialakuló taszítóerő tovább növelhető, hiszen megfelelő falvastagságot választva a mágnes-körök ellenállása tovább csökken, ami a mágnesek felületén további indukciónövekedést eredményez. Ennek köszönhetően a taszítóerő a mágnesek közti 0.25mm-es maximális összeszorítást feltételezve további ~40%-al növelhető. Ebben az esetben azonban nincs lehetőség a lengési energia részbeni kinyerésére.

**4. Gyakorlati alkalmazhatóság**

Rámutattam tehát, hogy a jelenleg járműfelfüggesztésekben alkalmazott rendszerek helyett alkalmazhatóak állandó mágnesek, melyek számos további funkcióval segítik a járműdinamikai, utas kényelmi és biztonsági paraméterek javulását. Egyszeri beruházást követően működésük lényegében meghibásodás mentes, és nem igényelnek folyamatos külső energia betáplálást sem. Ezen rendszerek egyedüli korlátja az alkalmazott ritkaföldfém mágnesek (NbFeB) jelenlegi magas ára, ami az új beruházásoknál meghatározó.

## 5. Összegzés

Értekezésem az állandó mágneses illetve elektromágneses rendszerek létjogosultságát vizsgálta a személygépjárművek futóművében. Ezen kutatási irányokat három témakörben végzett munkámon keresztül mutattam be. Elsőként megvizsgáltam a gépjárművek futóművében állandó mágneses szinkron csőmotorok alkalmazhatóságának lehetőségeit. Modellezési és mérési folyamatokon keresztül optimalizálom a szerkezetet, hogy alkalmazhatóságának lengéscsillapító specifikus feltételei teljesüljenek. Vizsgáltam a mágneses, villamos, mechanikus és hőmérsékleti igénybevételeket, illetve a különböző alkalmazások, változatok teljesítményre gyakorolt hatását. Ezen munka eredményeképpen bebizonyítom, hogy a hagyományos lengéscsillapítók geometriájával megegyező szinkron csőmotor rendszerrel a kívánt lengéscsillapító karakterisztika megvalósítható a fékezőerő villamos vezérlésével és a lengési energia visszatáplálásával kiegészítve. Megvizsgáltam továbbá a szupravezető kerámia (MHS), csőmotorban mágnesként alkalmazhatóságának lehetőségét. Méréseken keresztül vizsgáltam a szupravezetők viselkedését, fizikáját, és mágnesezési lehetőségeit. A mérések után modellt készítettem, és vizsgáltam a csőmotor mozgórészén való alkalmazás lehetőségét. Különböző típusú MHS motorok modellezését követően bebizonyítottam, hogy a hűtési folyamatok megvalósítása után a mozgórészen alkalmazott MHS- és az állandó mágneses csőmotor is közel azonos teljesítményt eredményez. Vizsgálataimban kitértem az állandó mágneses lebegtetés témakörére a jármű futóművek rugói kapcsán, melynél analitikus és végeselemes modellezésen illetve méréseken keresztül ismertem meg az effektust. Bebizonyítottam, hogy megfelelő méretű és darabszámú mágnesek segítségével megvalósíthatóak különböző jármű rugóerő-karakterisztikák, melyek tovább erősíthetők a megfelelő ferromágneses környezet alkalmazásával. Ennek megfelelően alkalmazhatóak állandó mágnesek járművek felfüggesztésében, mely állórész tekercsrendszerrel kombinálva alkalmazható a jármű lengésének vezérelhető csillapításán túl a lengési energia visszatáplálására is. Nemzetközi viszonylatban is új eredményeket a csőmotorok konstrukciós kialakítása, optimalizálása területén, a ritkaföldfém állandó mágnes MHS helyettesítése, valamint állandó mágneses rugó elméleti megalapozása területén értem el, és bemutattam, hogy eredményeim a gyakorlatban is alkalmazhatóak.

## 6. Fontosabb publikációk jegyzéke

- [1] Zádor István– Dr. Vajda István, „Állandó mágneses illetve szupravezető fél-aktív lengéscsillapító tervezési lépései”, Tavaszi Szél konferenciakiadvány, old. 147-152, Budapest, 2007
- [2] Istvan Zador – Daniel Horvath – Dr. Istvan Vajda, „PM Tube machine designed for a controlled vehicle shock-absorber suited for energy recuperative operation”, XVII<sup>th</sup> International Conference on Electrical Machines Conference (CD) Chania, 2006.
- [3] Istvan Zador –Dr. Istvan Vajda, „Development of a permanent magnetic semi-active shock-absorber”, International Review of Electrical Engineering, Vol. 2 N. 4, pp. 579-586, Italy, July-August 2007
- [4] Istvan Zador - Daniel Horvath - Dr Istvan Vajda „PM synchronous tube machine optimization for vehicle shock-absorber”, 13<sup>th</sup> Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation Conference Proceeding (CD), Athen, Greece, 2008.May.
- [5] Istvan Zador – Bence Falvy – László Dr. Palkovics, „Electro-mechanical suspension actuator with energy recuperative feature”, World Automotive Congress (CD), Yokohama, 2006.
- [6] Istvan Zador - Thomas Naber, „Elektromagnetische Komponente für Federung und Dämpfung im Fahrzeug”, Fahrwerk vertikaldynamik (CD), Deutschland, 2007.
- [7] Istvan Zador - Denes Kiraly - Dr Istvan vajda, „Synchronous tube machine optimization for vehicle shock absorber using permanent or superconducting magnets”, Applied Superconductivity Conference proceeding (CD), USA, 2008.