

Zárójelentés
A T 42657 számú „Szerszámgépek hajtóművek
Nemlineáris lengéseinek vizsgálata” című OTKA pályázatról

Az alábbiakban összefoglaljuk a kutatások során elért fontosabb eredményeket. Azokban az esetekben, amelyekben az elért eredményekből publikációk születtek, megadjuk azok elérhetőségét is.

1. A fázisgörbe feletti linearizálás módszerének egy kiegészítése

1.1. A módszer összefoglalása

A linearizálási módszerek alkalmazásakor a nemlineáris mozgásegyenlethez (differenciálegyenlethez) egy ún. linearizált mozgásegyenletet rendelünk hozzá olyan módon, hogy a linearizált mozgásegyenlet egy megoldása a nemlineáris mozgásegyenlet keresett megoldását lehetőleg jól közelítse. Például az egyszabadságfokú harmonikusan gerjesztett rendszerek esetén az

$$m\ddot{x} + f(x, \dot{x}) = F \cos \Omega t \quad (1.1.1)$$

nemlineáris differenciálegyenlethez az

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = F \cos \Omega t \quad (1.1.2)$$

linearizált differenciálegyenletet rendeljük hozzá, ahol a b és c mennyiségek a megoldások amplitúdójának és frekvenciájának a függvényei. A fázisgörbe feletti linearizálás módszere szerint a b, c, d paramétereket úgy választjuk meg, hogy az (1.2)

$$x = a_1 \cos(\Omega t - \vartheta_1) \quad (1.1.3)$$

alakú megoldásához tartozó fázisgörbe felett a $z = f(x, \dot{x})$ és a $z = b\dot{x} + cx$ felületek közötti eltérés minimális legyen. Ismeretes, hogy bizonyos feltételek teljesülése esetén (1.1.3) az (1.1.1) nemlineáris differenciálegyenlet keresett megoldását elég jól közelíti. Az (1.1.1) és (1.1.2) differenciálegyenletekben célszerű bevezetni a $\tau = \Omega t$ dimenzió nélküli időkoordinátát. Ekkor (1.1.1) és (1.1.2)

$$m\Omega^2 x'' + f(x, \Omega x') = F \cos \tau \quad (1.1.4)$$

$$m\Omega^2 x'' + b\Omega x' + cx = F \cos \tau \quad (1.1.5)$$

alakú lesz, ahol vessző a τ szerinti deriválást jelöli.

Az (1.1.5) által leírt állandósult lengések

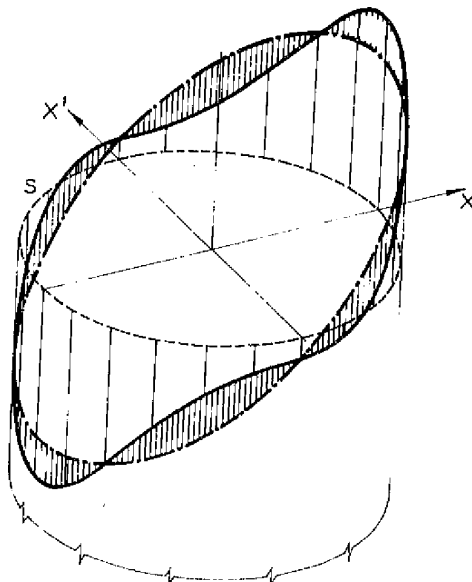
$$x = a_1 \cos(\tau - \vartheta_1) \quad (1.1.6)$$

alakúak, ahol b és c linearizált paraméterek ismeretében az a_1, ϑ_1 állandók egyszerűen számíthatók. Az (1.1.6)-ból

$$x' = a_1 \sin(\tau - \vartheta_1) \quad (1.1.7)$$

adódik. Mivel x és x' azonos dimenziójú a (x, x') fázissíkon értelmezhető az ívelem.

Ábrázoljuk az $f(x, \Omega x')$ jellegfelületet és az azt közelítő $b\Omega x' + cx$ kiegyenlítő síkot az (x, x') fázissík felett. Az (1.1.6) és (1.1.7)-nek megfelelő s fázisgörbe origó középpontú a_1 sugarú kör. A fölé emelt körhenger a $z = f(x, \Omega x')$ felületből egy térgörbét a $z = b\Omega x' + cx$ síkból pedig ellipszist metsz ki (1.1. ábra).



1.1.ábra.

Rögzített a_1 és Ω esetén azokat a b és c értékeket keressük, amelyeknél az ellipszis a térgörbét jól közelíti. Ezért előírjuk, hogy az eltéréseknek a fázisgörbe felett vett négyzetintegrálja legyen minimális, azaz

$$J = \oint_s [f(x, \Omega x') - (b\Omega x' + cx)]^2 ds = \text{minimum} \quad (1.1.8)$$

A $b = b(a_1, \Omega)$ és $c = c(a_1, \Omega)$ paraméterek (1.1.8)-ból egyszerű szélsőérték számítással számolhatók.

Hasonló módon járunk el autonóm és paraméteresen gerjesztett lengések esetén is.

1.2. Magasabb harmonikusok közelítése

Tételezzük fel, hogy az (1.1.1) által leírt lengések első harmonikusa az 1.1. pontban leírt módon az (1.1.2) linearizált lengő rendszer állandósult lengéseivel elfogadható módon közelíthető. Ez akkor várható, ha az (1.1.1)-ben a nemlinearitás mértéke kicsi, és a nemlineáris rendszert a rezonancia frekvencia közelében gerjesztjük. Ha a nemlinearitás mértéke kicsi, akkor az (1.1.6) és (1.1.7) által leírt fázisgörbe közelében az $f(x, \dot{x})$ felbontható az

$$f(x, \dot{x}) = b(a_1, \Omega)\dot{x} + c(a_1, \Omega)x + \varepsilon g(x, \dot{x}) \quad (1.2.1)$$

alakban, ahol ε kis paramtéter, a $b(a_1, \Omega)$. és $c(a_1, \Omega)$ mennyiségeket pedig az (1.1.8) feltételből határozzuk meg.

Az 1.1. ponthoz hasonlóan (1.1.2) állandósult lengéseit leíró partikuláris megoldását most is az (1.1.3), azaz

$$x_1 = a_1 \cos \psi \quad (1.2.2)$$

alakban keressük, ahol $\psi = \Omega t - \vartheta_1$, a_1 és ϑ_1 pedig $b(a_1, \Omega)$. és $c(a_1, \Omega)$ ismeretében (1.1.2)-ből egyszerűen számítható. Az (1.1.1) mozgásegyenlet magasabb harmonikusokat is tartalmazó megoldását az

$$x_1 = x_1 + \Delta x_1 \quad (1.2.3)$$

alakban keressük. A Δx_1 függvény Fourier sorát a

$$\Delta x_1 = C_{01} + \sum_{n=2}^{\infty} (C_{n1} \cos n\psi + D_{n1} \sin n\psi) \quad (1.2.4)$$

alakba írjuk. Mivel $f(x, \dot{x})$ (1.2.1) alakú, és a rendszert a rezonancia frekvencia közelében gerjesztjük, feltételezzük, hogy $\|\Delta x_1\| \ll \|x_1\|$, amelyet a

$$\Delta x_1 = \varepsilon u_1 \quad (1.2.5)$$

jelöléssel is hangsúlyozunk. Behelyettesítve (1.2.3)-at és (1.2.5)-öt (1.1.1)-be, az

$$m\ddot{x}_1 + m\varepsilon \ddot{u}_1 + f(x_1 + \varepsilon u_1; \dot{x}_1 + \varepsilon \dot{u}_1) = F \cos(\psi + \vartheta_1) \quad (1.2.6)$$

összefüggést kapjuk, amelyben x_1 az (1.2.2) ismert függvény. Linearizáljuk az (1.2.6)-ban szereplő $f(x_1 + \varepsilon u_1; \dot{x}_1 + \varepsilon \dot{u}_1)$ nemlineáris függvényt az (x_1, \dot{x}_1) helyen. Így az

$$f(x_1 + \varepsilon u_1; \dot{x}_1 + \varepsilon \dot{u}_1) \approx f(x_1, \dot{x}_1) + f'_x(x_1, \dot{x}_1)\varepsilon u_1 + f'_{\dot{x}}(x_1, \dot{x}_1)\varepsilon \dot{u}_1 \quad (1.2.7)$$

összefüggést kapjuk, ahol (1.2.1) alapján

$$f'_x(x_1, \dot{x}_1) = c(a_1, \Omega) + \varepsilon g'x(x_1, \dot{x}_1) \quad (1.2.8)$$

és

$$f'_{\dot{x}}(x_1, \dot{x}_1) = b(a_1, \Omega) + \varepsilon g'\dot{x}(x_1, \dot{x}_1) \quad (1.2.9)$$

írható. Ha az (1.2.7) – (1.2.9) összefüggéseket (1.2.6)-ba helyettesítjük, és az ε^2 -et tartalmazó tagokat elhanyagoljuk, akkor az

$$m\ddot{x}_1 + m\varepsilon \ddot{u}_1 + f(x_1, \dot{x}_1) + b(a_1, \Omega)\varepsilon \dot{u}_1 + c(a_1, \Omega)\varepsilon u_1 = F \cos(\psi + \vartheta_1) \quad (1.2.10)$$

egyenletre jutunk. Ha az $f(x_1, \dot{x}_1)$ függvényt Fourier sorba fejtjük és (1.2.10)-be behelyettesítjük εu_1 (1.2.4) Fourier sorát, akkor a megfelelő harmonikusok együtthatóinak összehasonlítása alapján meghatározhatók az ismeretlen C_{01}, C_{n1}, D_{n1} ($n = 2, 3, \dots$) együtthatók.

1.3. Az eredmények finomítása

A fentiekben bemutattuk az (1.1.1) egyenlet magasabb harmonikusokat is tartalmazó (1.2.3) alakú közelítő megoldása előállításának módszerét. Felmerül a kérdés, hogy vajon lehet-e a kapott eredményeket tovább finomítani. Kézenfekvőnek látszik egy

olyan új kiegyenlítő sík meghatározása, amelyik az (1.1.6) és (1.1.7) által definiált s fázisgörbe helyett már egy másik pl. az 1.2. pontban bemutatottak szerint javított megoldás fázisgörbéje felett közelíti az $f(x, \dot{x})$ nemlineáris jellegfelületet.

Vezessük be ismét a $\tau = \Omega t$ dimenzió nélküli időkoordinátát és az (1.1.4) nemlineáris differenciálegyenlethez rendeljük hozzá az

$$m\Omega^2 x'' + b_1 \Omega x' + c_1 x + d_1 = F \cos \tau \quad (1.3.1)$$

linearizált differenciálegyenletet, amelynek megoldását az

$$x_2 = a_0 + a_2 \cos(\tau - \vartheta_1) \quad (1.3.2)$$

alakban keressük. Az a_2 -ről feltételezzük, hogy az 1. pontban leírtak szerint előállítható amplitúdó kis perturbációjaként áll elő, azaz

$$a_2 = a_1 + \Delta a_1 \quad (1.3.3)$$

alakba írható, ahol $|\Delta a_1| \ll |a_1|$. A b_1, c_1, d_1 mennyiségeket most úgy határozzuk meg, hogy a $z = f(x, \Omega x')$ felületet a $z = b_1 \Omega x' + c_1 x + d_1$ sík az

$$x = x_2 + \Delta x_1 \quad (1.3.4)$$

és

$$x' = x_2' + \Delta x_1' \quad (1.3.5)$$

szerint értelmezett s_1 jelű fázisgörbe felett lehetőleg jól közelítse. Az (1.3.4) és (1.3.5)-ben szereplő Δx_1 az (1.2.4) által értelmezett és az 1.2. pontban meghatározott Fourier sor.

Mivel x és x' azonos dimenziójú, az s_1 fázisgörbén értelmezhető az ívelem. Ezért előírjuk, hogy az eltéréseknek az s_1 fázisgörbe felett vett négyzetintegrálja legyen minimális, azaz a

$$J_1 = \oint_{(s_1)} \{f(x_2 + \Delta x; \Omega x_2' + \Omega \Delta x') - [b_1 \Omega (x_2' + \Delta x_1') + c_1 (x_2 + \Delta x) + d_1]\}^2 ds_1 = \text{minimum} \quad (1.3.6)$$

feltétel teljesüljön. A $b_1 = b_1(a_0, a_2, \Omega)$, $c_1 = c_1(a_0, a_2, \Omega)$ és $d_1 = d_1(a_0, a_2, \Omega)$ paraméterek (1.3.6)-ból szélsőérték számítással elvileg meghatározhatók. Az a_0 értékét és az (1.3.2) szerinti, javított a_2 amplitúdó értékét az (1.3.6)-ból számított b_1, c_1, d_1 paraméterek ismeretében az (1.3.1) linearizált differenciálegyenlet megoldásával állítjuk elő.

Könnyen belátható, hogy a fentiek szerint meghatározott b_1, c_1, d_1 kifejezéseiben szereplő integrálok nagyon bonyolultak, amelyek analitikusan általában nem végezhetők el. Ezért azt javasoljuk, hogy a kiegyenlítő sík paramétereinek meghatározásakor az s_1 fázisgörbe helyett közelítőleg az (1.3.2)-höz tartozó

$$x_2 = a_0 + a_2 \cos(\tau - \vartheta_1)$$

és

$$x_2' = -a_2 \sin(\tau - \vartheta_1)$$

s_2 jelű fázisgörbét válasszuk. Ez a fázisgörbe a_0 középpontú a_2 sugarú kör. Ez a választás a számításokat jelentősen leegyszerűsíti.

Az is előfordul, hogy a_2 -re túlságosan bonyolult algebrai egyenletrendszer adódik. Ilyen esetekben célszerű a_2 -nek az (1.3.3) felbontását használni és a bonyolult összefüggéseket a_1 környezetében linearizálni.

Ilyen módon az a_1 amplitúdó Δa_1 megváltozása egyszerűen számítható.

Tekintsük a fentiekben előállított

$$\bar{x}_2 = x_2 + \Delta x_1$$

megoldást az (1.1.1) keresett megoldása újabb közelítésének, ahol $\Delta x_1 = \varepsilon u_1$. Látható, hogy ezt a megoldást alapul véve és az 1.2. pontban leírt gondolatmenetet követve az

$$x_{2m} = \bar{x}_2 + \Delta x_2$$

összefüggést alkalmazva a magasabb harmonikusoknak egy újabb közelítéséhez juthatunk.

1.4. Példa

Tekintsük az

$$\ddot{x} + x^3 = \sin t \quad (1.4.1)$$

differenciálegyenletet. Az 1.1. pontban leírt közelítést alkalmazva $b=0$; $c=0,75$ a^2 értékeket kapjuk, közelítő megoldásként pedig

$$x = 1,492258 \sin t \quad (1.4.2)$$

adódik. Az 1.2. pontban leírtak alkalmazásával magasabb harmonikusokat közelítve az

$$x = 1,492258 \sin t - 0,113337 \sin 3t \quad (1.4.3)$$

megoldásra jutunk. Az 1.3. pontban leírtak szerint az eredményeket finomítva az első harmonikus tekintetében az

$$x = 1,431292 \sin t \quad (1.4.4)$$

eredményt, majd a magasabb harmonikusokat keresve az

$$x = 1,431292 \sin t - 0,121872 \sin 3t + 0,008065 \sin 5t - 0,000292 \sin 7t + 0,000005 \sin 9t \quad (1.4.5)$$

közeliítő megoldást kapjuk.

Az (1.4.1) periodikus megoldását Urabe és Reiter [1] a Galerkin módszert alkalmazva állította elő. (Látható, hogy a Runge-Kutta típusú numerikus integrálások most nem használhatók, mivel (1.4.1) nem tartalmaz csillapítást.) Az (1.4.1) differenciálegyenlet 10^{-5} pontosságú megoldására [1]-ből jelentős matematikai apparátusra támaszkodva

$$x = 1,43118 \sin t - 0,12691 \sin 3t + 0,00975 \sin 5t - 0,00076 \sin 7t + 0,00005 \sin 9t \quad (1.4.6)$$

adódik. Az (1.4.5) és (1.4.6) megoldások egybevetése azt mutatja, hogy az 1.1-1.3. pontban leírtak szerint egyszerű és szemléletes úton a mérnöki gyakorlat számára elfogadható közelítő megoldások állíthatók elő.

Az 1. pontban leírtakat eredményesen használtuk a kutatási téma kidolgozása során szerszámgép fő- és mellékajtóművekben fellépő nemlineáris lengéseinek vizsgálatára

[3], [9], [10], [17], [18], [20], továbbá ultraprecíziós szerszámgépre épített szuperfiniselő berendezés nemlineáris tulajdonságainak elemzésére [19], [21], [23], [24] is.

2. Színhajtásokban kialakuló lengések vizsgálata

A kutatómunka egyik fontos célkitűzése volt a színhajtásokban fellépő nemlineáris rezgések vizsgálata. Az elemzéseket két nagyobb részre bontottuk, vizsgáltuk a lapos és poliV-szíjak lengéseinek tulajdonságait, majd a fogazott szíjak lengéseivel foglalkoztunk.

2.1 Lapos és poliV-szíjak vizsgálata

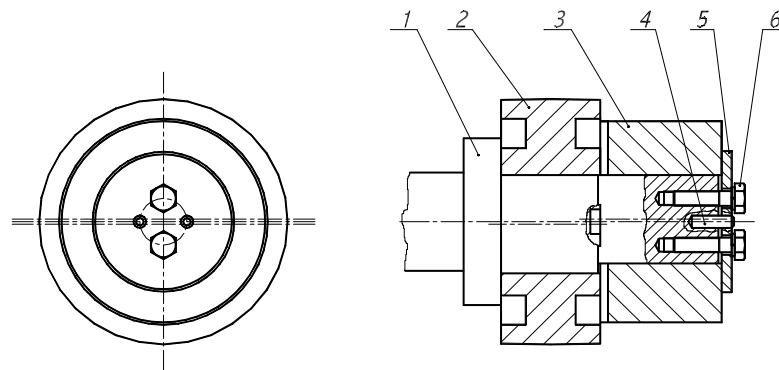
Olyan szíjhajtásokat vizsgáltunk, amelyeknél az excentricitás mindkét tárcsán olyan mértékű, hogy az nem elhanyagolható. Abban az esetben, hogy ha a szíjtárcsák átmérője megegyezik, a kialakuló lengéseknek egy fő stabilitási tartománya van. Érdekes eredmény, hogy a fő instabilitási tartományok helyzete az excentricitások elhelyezkedésétől függ, ezért ilyenkor a legkedvezőtlenebb esettel kell mindig számolni. Abban az esetben, ha a szíjtárcsák áttétele egytől különböző, akkor a kialakuló lengéseknek két fő instabilitási tartománya van. A fő instabilitási tartományokat a Hill-féle determinánsok módszerével határoztuk meg, és előállítottuk a stabilitási tartományok határait. Ugyancsak kettős excentricitás esetén megvizsgáltuk az instabil tartományok magasabb fokú közelítéseit is, és numerikus eljárást dolgoztunk ki a stabilitási tartományokat határoló görbék előállítására. Abban az esetben, amikor mindkét szíjtárcsán olyan mértékű az excentricitás, hogy az nem hanyagolható el, és a szíjtárcsák áttétele is egytől különböző, megvizsgáltuk a szíjak stabilitásvesztés utáni viselkedését. A paraméteresen gerjesztett nemlineáris mozgásegyenletek megoldását közelítőleg a fázisgörbe feletti linearizálás módszerével állítottunk elő. Különböző paraméterek esetén meghatároztuk a stabilitás-vesztés után előálló amplitúdó- frekvencia függvényeket. Az eredményeket numerikus kísérletekkel, Runge-Kutta módszerrel történt integrálásokkal ellenőriztük és megállapítottuk, hogy a fázisgörbe feletti linearizálással kapott eredmények a mérnöki gyakorlatban elfogadható pontossággal írják le a nemlineáris jelenségeket. A numerikus vizsgálatok arra is felhívták a figyelmet, hogy bizonyos esetekben kaotikus lengések állhatnak elő. Ez a jelenség további elméleti vizsgálatokat igényel. Külön vizsgáltuk a szíjhajtásokban fellépő szlip hatását. A kialakult stabil- és instabil állományok helyzetére a vizsgálatokat az egytől különböző áttételek esetére is kiterjesztettük. Megmutattuk, hogy a szlip következtében az instabil tartományok kis mértékben a magasabb fordulatszámok irányába mozdulnak el. A fenti eredmények megtalálhatóak a [3], [18] publikációkban és a [9] doktori értekezésben. (http://www.siphd.uni-miskolc.hu/ertekezések/2003/Kollanyi_Tibor_ertekezés.pdf).

2.2 Fogazott szíjhajtások vizsgálata

Szerszámgépekben, különösen mellékajtóművekben elterjedten használnak fogazott szíjakat. Elemeztük azt a kérdést, hogy a fogak ki- és belépése milyen hatással van a szíjhajtás stabilitására. Megállapítottuk, hogy ez a jelenség újabb gerjesztésként fogható fel, és a 2.1. pontban leírtakhoz képest egy újabb fő instabilitási tartomány áll elő. A kapott eredményeket [17] publikáltuk és azok készülő doktori értekezésbe épülnek be.

3. A fő instabilitási tartományok kísérleti vizsgálata

Az 1.1. pontban leírt eredmények részbeni kísérleti ellenőrzésére a Szerszámgépek Tanszékén egy berendezést építettünk.



1. *Tengely*
2. *Szíjtárcsa*
3. *Ellensúly*
4. *Illesztő csap*
5. *Leszorító alátét*
6. *Hatlapfejű csavar*

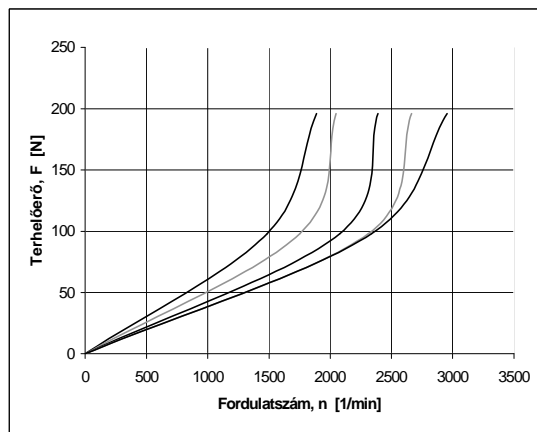
3.1. ábra

A berendezés olyan, hogy mindkét szíjtárcsán folyamatosan állítható az excentricitás. Az excentricitást állító berendezést a 3.1. ábra szemlélteti. Változtatható a szíjak előfeszítése és a berendezés különböző szíjhosszak esetén teszi lehetővé a vizsgálatokat. A berendezés fényképét a 3.2. ábra mutatja.

Mérési eredmények közül példákat láthatunk a 3.3., 3.4. ábrákon. A 3.3. ábrán látható két fő instabilitási tartomány az első és második lengésképhez tartozik, tehát itt valójában lengésképenként egy fő instabilitási tartomány van. A 3.4. ábrán látható fő instabilitási tartományok közül kettő-kettő tartozik egy lengésképhez. Megállapítható, hogy különböző átmérőjű szíjtárcsák esetén valóban kísérletekkel kimutatható az, hogy ha mindkét szíjtárcsán jelentős excentricitás van, akkor két fő instabilitási tartomány lép fel. Azt is megfigyeltük, hogy bizonyos esetekben kaotikus lengések állnak elő, amelyeket a mozgásegyenletek numerikus megoldásával is sikerült megmutatnunk. Ennek a jelenségnek a vizsgálata további kutatásokat tesz szükségessé, amelyek azonban messze meghaladják a jelen projekt kereteit. Ugyanakkor a felmerült probléma, mind elméleti, mind gyakorlati szempontból nagyon érdekes lehet.

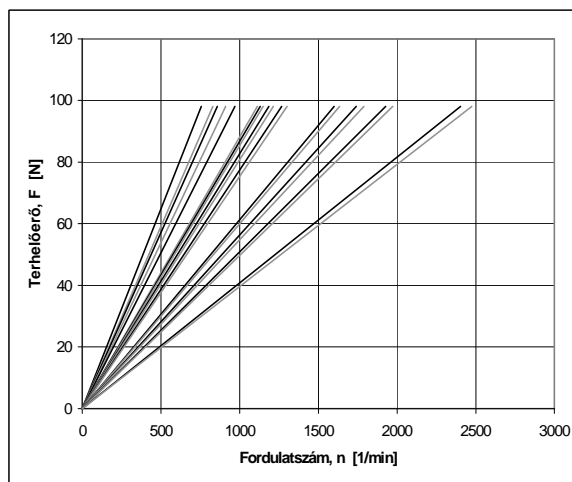


3.2.ábra



$e_1=2.01, e_2=2.04$ áttétel: $i=1$

3.3.ábra

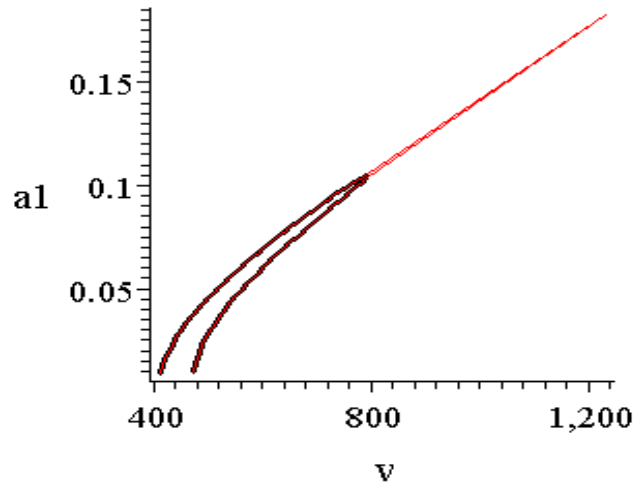


$e_1=0.01, e_2=0.04$ áttétel: $i=0.4$

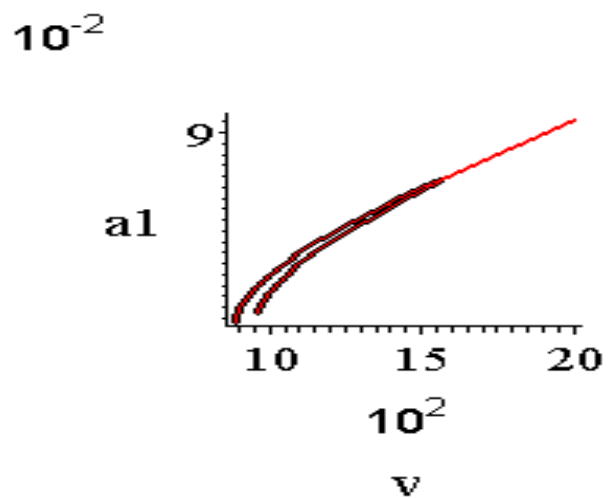
3.4.ábra

4. Nemlineáris karakterisztikák mérése

A Tanszékünkön évek óta foglalkozunk dinamikai rendszerek karakterisztikáinak mérésével történő meghatározásával. Abban az esetben, hogy ha egy-egy gépelem rugóállandója, vagy csillapítási tényezője a lengések amplitúdóitól és frekvenciáitól függ, akkor a mérési eredmények alapján nem lineáris karakterisztikák, vagy jellegfelületek építhetők fel. A kutatómunka során a kezdeti számításainkat a korábban megépített, illetve javított mérőberendezésen felvett karakterisztikák alapján végeztük.



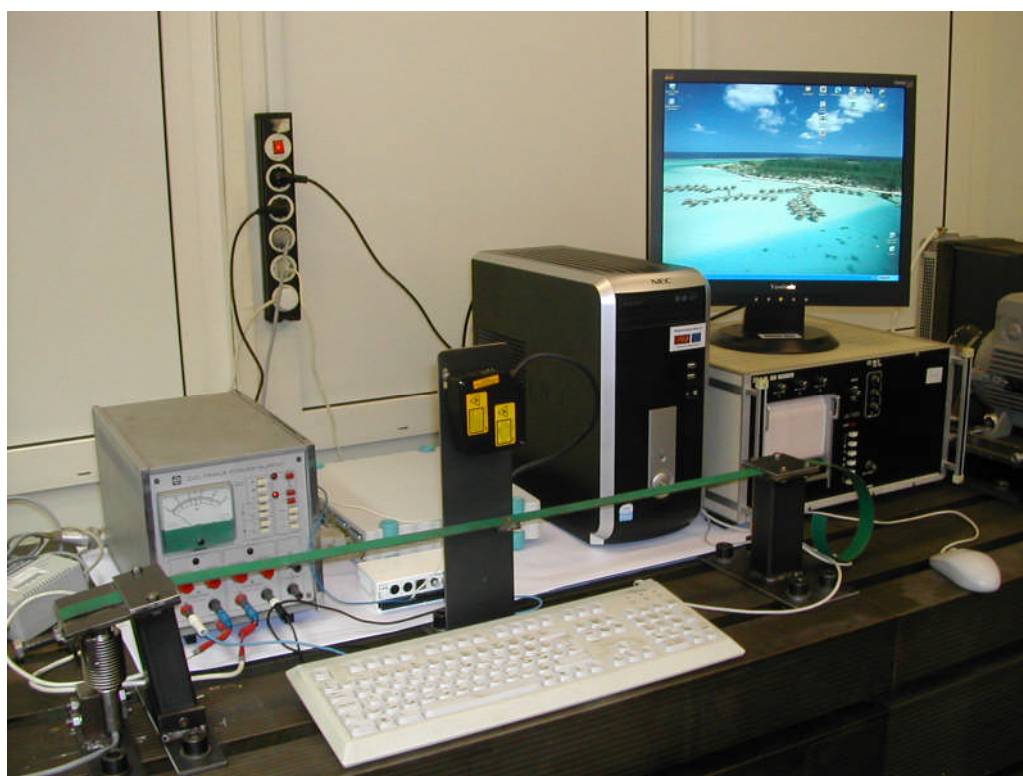
4.1. ábra



4.2. ábra

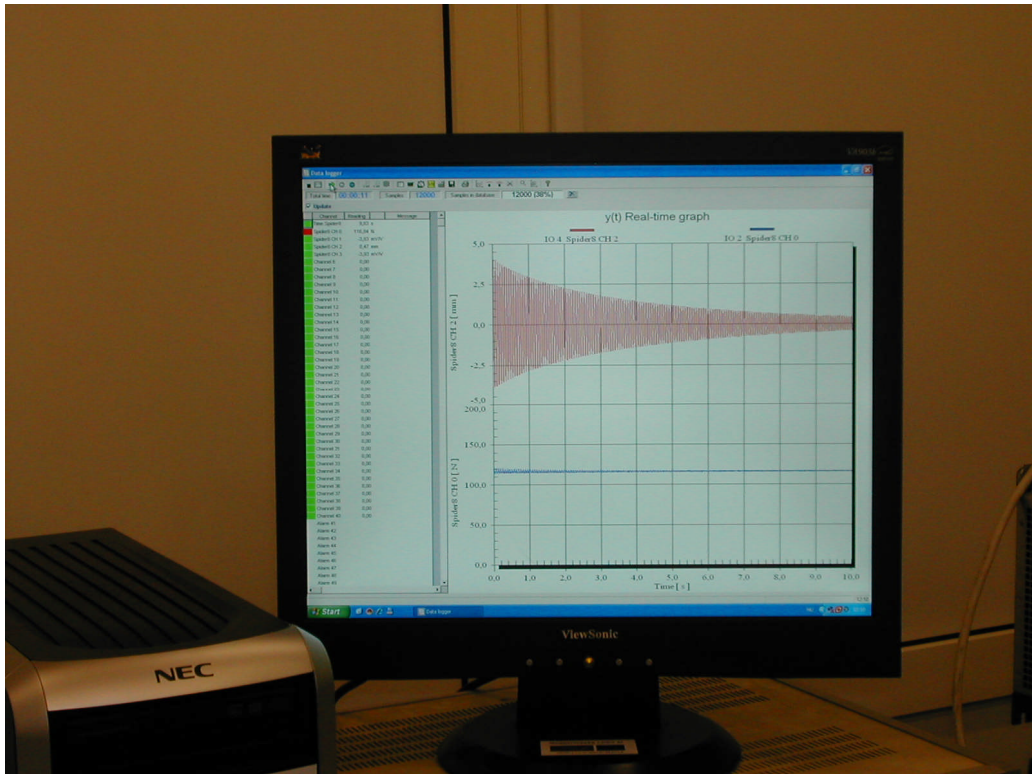
Konferenciákon történt előadások hozzászólásai esetenként a mérési módszereinket, mivel azok akkor nem vették figyelembe a levegő csillapítását. Először próbaszámításokat végeztünk, hogy az azonos csillapítási teljesítmény esetén a lineáris csillapítás helyett egy négyzetes csillapítási tényezőt veszünk figyelembe, akkor vajon mennyiben befolyásolja ez a feltételezés a kapott eredményeket.

A próbaszámítások kapcsán kapott eredményekből kettőt a 4.1. és 4.2. ábrák szemléltetnek. A 4.1. ábra az első a 4.2-es ábra a második lengésképhez tartozó maximális amplitúdók változását mutatja a szögsebesség függvényében. Az ábrákon pirossal a lineáris csillapításhoz tartozó, feketével a nemlineáris csillapításhoz tartozó eredmények láthatók. Megállapítható, hogy a nemlineáris csillapítási modell a rezonanciagörbék helyzetét nem változtatja meg, de a maximális kitérések lényegesen kisebbre adódnak, mintha a lineáris csillapítást vennénk figyelembe. Ezért indokoltnak tartottuk olyan mérőberendezés megépítését, amely alkalmas a levegő csillapításának meghatározására is. Az első változatokat az Egyetemünk Elektrotechnikai és Elektronikai Tanszékéről kölcsönkért mérőberendezésekkel végeztük. Ezen mérőberendezéseken szerzett tapasztalatok alapján állítottuk össze a Szerszámgépek Tanszékén a 4.3. ábrán látható kísérleti berendezést.

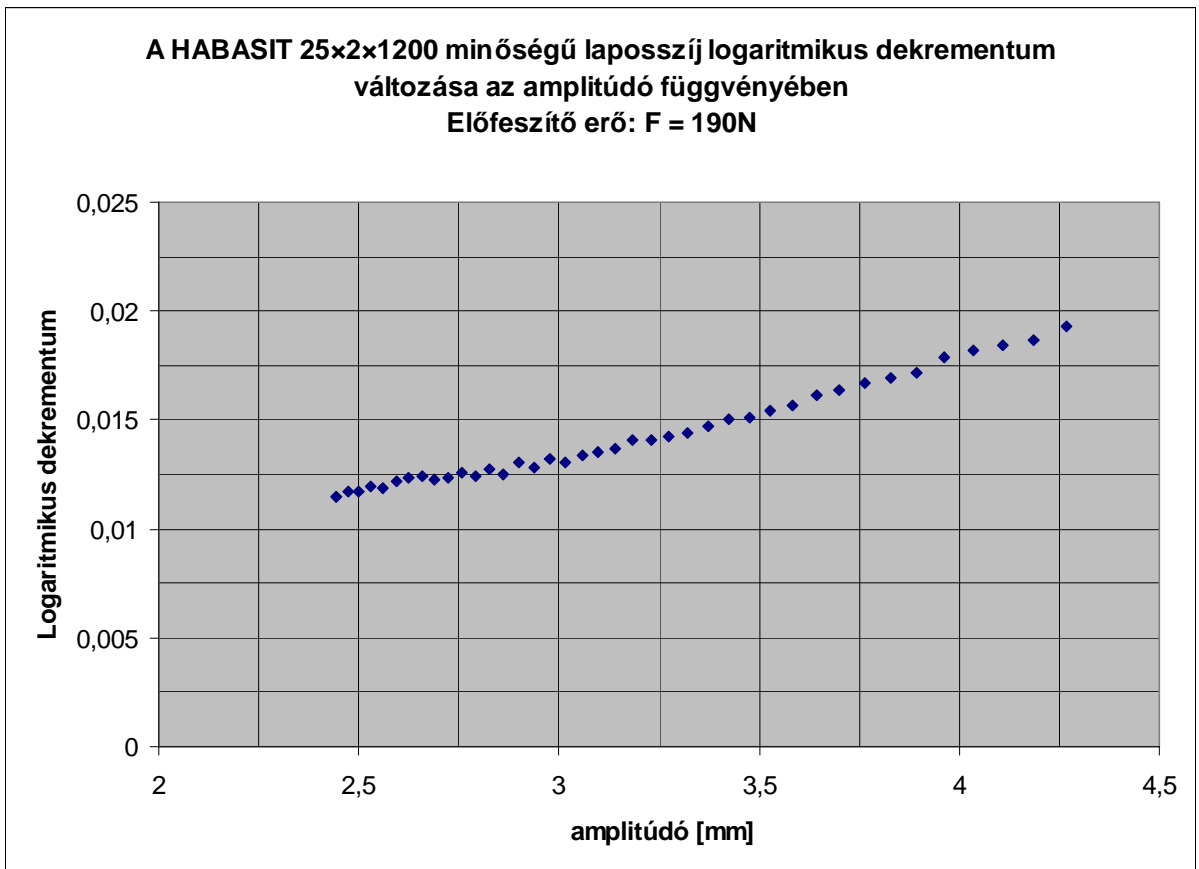


4.3. ábra

A csillapodó lengések mérési adatgyűjtőből előhívható regisztrátumát egy konkrét esetben a 4.4 ábra mutatja, amelynek alapján egyszerűen meghatározhatók a logaritmikus dekrementumok amplitúdó függvényei. Egy ilyen mérőszorozatot szemléltet a 4.5. ábra, amelyből megállapítható, hogy a logaritmikus dekrementumok jelentősen függenek a lengések amplitúdóitól. Ezen függvény alapján korábban publikált módszerekkel különböző előfeszítések és szíjhosszak esetén meghatározhatók a nemlineáris csillapítási paraméterek.



4.4. ábra



4.5. ábra

5. Többszabadságfokú mellékhajtómű modell vizsgálata

A kutatások során előállítottuk egy mellékhajtómű három szabadságfokú dinamikai modelljét és felírtuk a modellhez tartozó mozgásegyenleteket. Az eredményeket [20]-ban tettük közzé. A számításokkal kiegészített eredmények Madarasi Gábor doktori értekezésébe fognak beépülni.

Az eredmények kísérleti vizsgálatához egy mellékhajtómű modellt terveztünk. A modellt olyan típusúra kívántuk kialakítani, hogy a lineáris mozgásokat megvalósító golyósorsó-golyósanya kapcsolat vizsgálatára is alkalmas legyen, ugyanakkor a későbbiekben lehetőséget nyújtson lineáris motorok vizsgálatára is. Többféle konstrukciós változat közül egyet, az általunk legjobbnak vélt változatot az 5.1 ábra szemlélteti.

Ebben a változatban orsó anya része felül, a tekercs pedig alul helyezkedik el, a papucsok befordított állapotban vannak, a szán vízszintes elhelyezkedésű, tekercsnyi hosszúságú. A mágnes egy kocsihoz van rögzítve, és sínen lehet a tekercessel szembe mozgathatni.

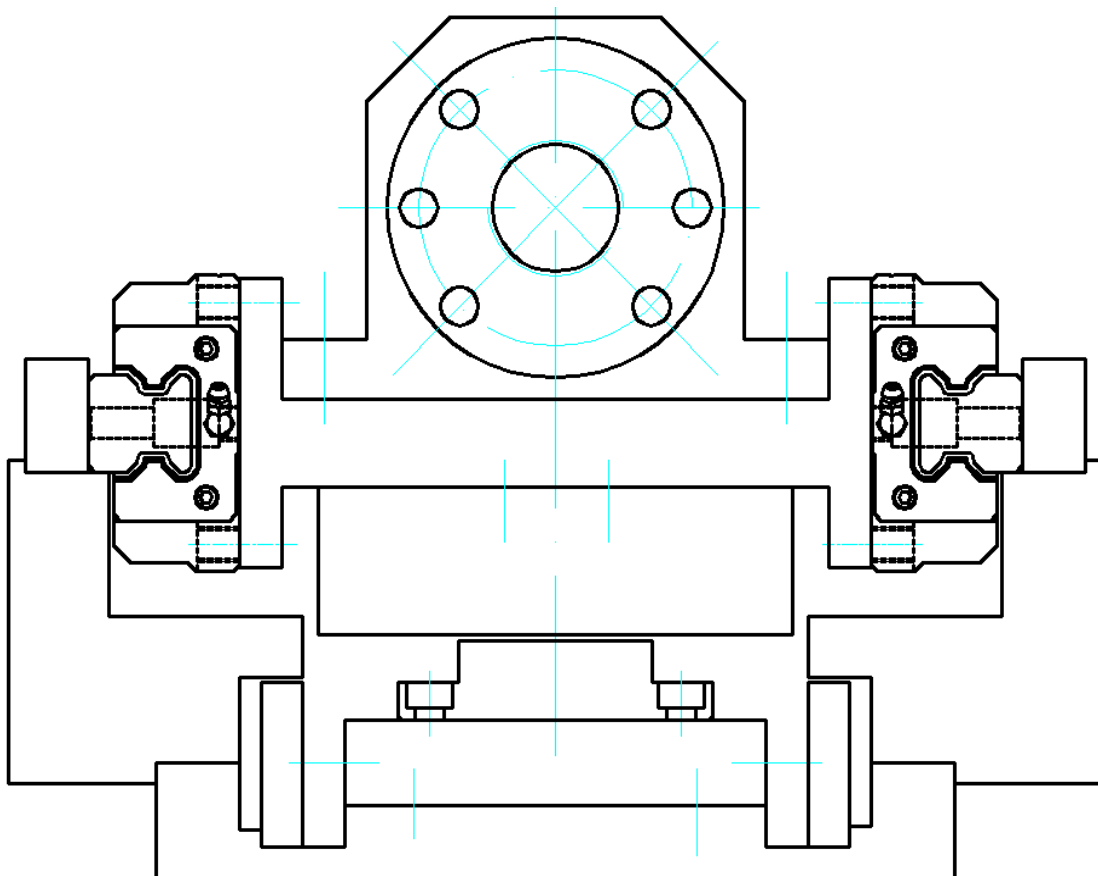
A változat előnye:

- az orsó és a lineáris motor egymás előtt helyezkedik el;
- a papucsokhoz képest külön-külön működve középről mozgatják a szánt;
- a szán tekercsnyi hosszúságú;
- a szélességét csak az anya befogó alkatrésze határozza meg;
-
- az orsó szerelése könnyebb felülről;
- a mágnes sínen való mozgatása előnyösebb és könnyebb, mint a karos megoldásnál;
- egyszerűbb a tekercstől való távolságot tartani;
- a papucsok befordított állapota miatt mindkét mérésnél ugyanolyan helyzetben és - karon mozgatjuk a szánt;
- egyszerű konstrukciójú megoldás.

A változat hátránya:

- A papucsok nem bírják akkora terhelést, mint vízszintes állapotban.

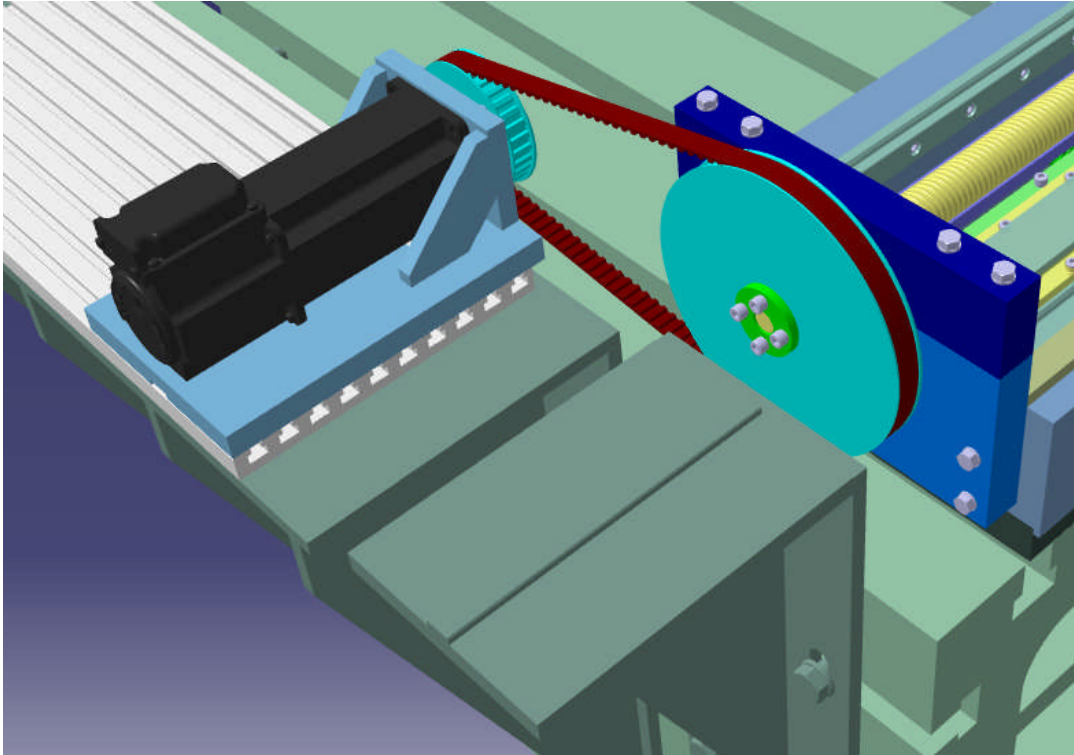
A változatok közül ez a legkedvezőbb, legelőnyösebb megoldás, ez került kiválasztásra.



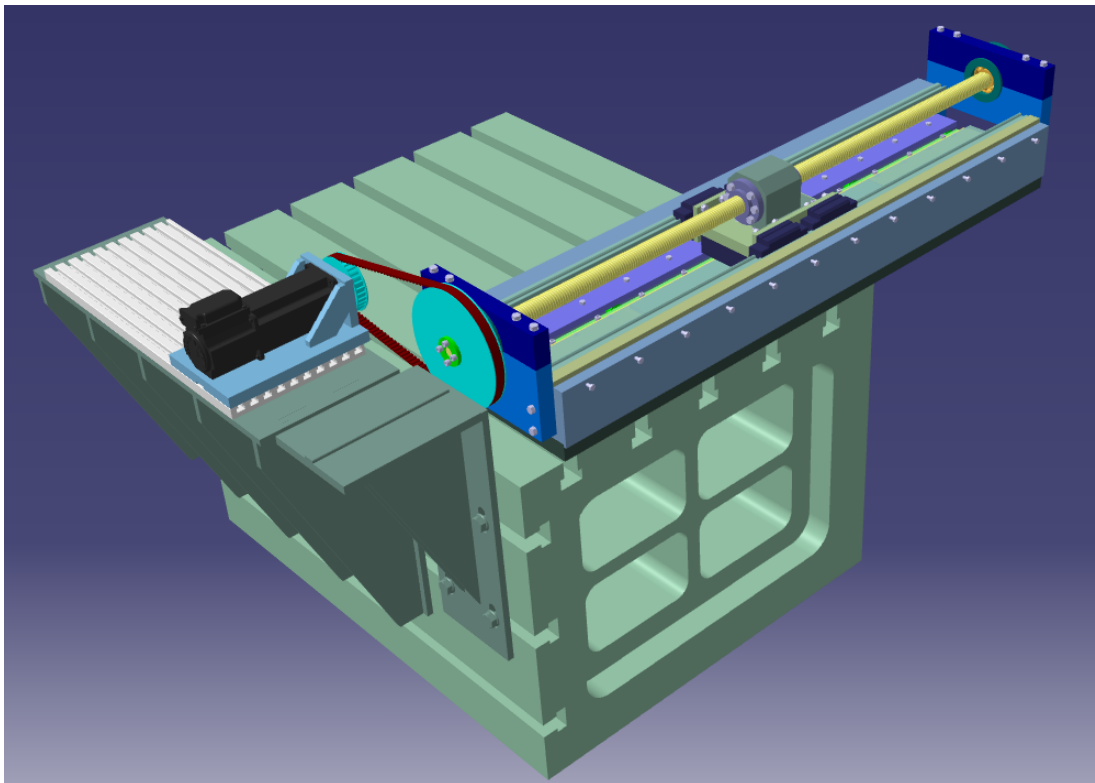
23. változat

5.1. ábra

A mellékajtómű modell háromdimenziós nézetei az 5.2. és 5.3. ábrákon láthatók. A modell megépítésére részben a Szerszámgépek Tanszéke műhelyének átépítése, részben időhiány miatt nem került sor.



5.2. ábra



5.3. ábra

6. Golyósorsó-golyósanya kapcsolatának vizsgálata

A kutatási tervben célul tűztük ki a golyósorsó-golyósanya kapcsolatának vizsgálatát. Ennek fontosságára a golyósorsókkal foglalkozó szakemberek személyes konzultáció során hívták fel a figyelmet. Így feltételezhető volt, hogy a hajtóművek viselkedését ez a kapcsolat jelentősen befolyásolja. Az első vizsgálatok rámutattak arra, hogy ez a kapcsolat sokkal bonyolultabb és mélyrehatóbb elemzéseket igényel, mint ahogy azt eredetileg elterveztük. Arra a következtetésre jutottunk, hogy a dinamikai vizsgálatok előtt számos kinematikai összefüggést kell tisztázni és külön gondot jelent, hogy a mozgások során egyes golyósorsóknál, a vártnál vagy számítottnál lényegesen nagyobb nyomatékok lépnek fel.

Megállapítottuk, hogy a golyósorsó-golyósanya kapcsolatban meghatározó szerepük van a visszavezető pályáknak. A pályagörbék sok esetben nem megfelelően tervezettek és a pályák kialakítása is olyan, hogy esetenként előállhatnak akadési jelenségek is. Elemeztük a különböző lehetséges visszavezető pályákat, azok leírására szplájn-interpolációt alkalmaztunk. Az is kiderült, hogy a visszavezetőtestek tájolása sok esetben nem megfelelő, ezért új tájoló-berendezésre tettünk javaslatot. Különösen nagy emelkedésű golyósorsóknál a golyósanya megmunkálásának kinematikai vizsgálataiból számos pontatlanságra derült fény. Javaslatot tettünk egy célszerűbb megmunkálásra. Vizsgáltuk a golyósorsó-golyósanya érintkezési kapcsolatait is.

Az eredményeket [2], [4], [5], [6], [7], [8], [13], [14], [15], [16] publikációkban tettük közzé. A kapott eredmények beépülnek Hegedűs György remélhetően a közeli jövőben elkészülő doktori értekezésébe is.

Irodalomjegyzék

1. Urabe, M., Reiter, A.: *Numerical computation of nonlinear forced oscillations by Galerkin's procedure*, Journal Math. Analysis Applic. 14 (1966), pp. 107-152.
2. Hegedűs Gy; Takács Gy; Patkó Gy: *Golyós-menetes mozgásátalakítók kutatása, fejlesztése*, Gép LIV. évfolyam, 2003. 9. szám: 23-26,
3. Kollányi T; Patkó Gy; Faragó K: *Színhajtások stabilitási tartományainak elhelyezkedése különböző lengésképek esetén*, GÉP, LIV. évfolyam, 2003. 9. szám: 13-18,
4. Hegedűs Gy.: *Váltópályák közelítése numerikus módszerekkel*, Doktoranduszok Fóruma, Gépek és szerkezetek tervezése szekció, Miskolci Egyetem, 2003. november 6., Gépészmérnöki Kar szekciókiadványa, pp. 96-102
5. Patkó Gy; Takács Gy; Hegedűs Gy: *Axiális tájolás és hibaelemzése golyósorsóknál*, OGÉT, XI. Nemzetközi Gépész Találkozó, Erdélyi Magyar Műszaki Társaság, Kolozsvár: 182-185, 2003
6. Tajnafői J; Patkó Gy; Takács Gy; Hegedűs Gy: *Visszavezető tag tájolása golyósorsók esetében*, GÉP, LIV. évfolyam, 2003. 3-4. szám: 9-12, 2003
7. Hegedűs Gy., Takács Gy.: *Issues of the orientation of return guide in ballscrews*, MicroCAD 2003, International Scientific Conference 6-8. March 2003, Miskolc, Section K: Machine and structure design, pp. 37-42,
8. Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Váltó pálya vizsgálata golyósorsó esetén*, XII. Nemzetközi Gépész Találkozó – OGÉT 2004., pp.: 124-128.,
9. Kollányi T: *Szjágak transzverzális lengései*, PhD értekezés, MISKOLC, 2004
10. Beleznai R; Oroszinka T; Simon G; Patkó Gy;: *Színhajtás stabilitásvizsgálata*, OGÉT 2005, XIII. Nemzetközi Gépész Találkozó, Szatmárnémeti, 2005. április 28 - május 1., 61 - 64. oldal,
11. Demeter P; Tajnafői J;: *Speciális ciklois görbék*, OGÉT 2005, XIII. Nemzetközi Gépész Találkozó, Szatmárnémeti, 2005. április 28 - május 1., 110 - 114. oldal, 2005
12. Demeter P; Tajnafői J;: *Special cycloids*, microCAD 2005 International Scientific Conference 10-11 March 2005; Section K: Machine and Construction Design; pp. 31 - 36., 2005
13. Hegedűs Gy; Patkó Gy; Takács Gy: *Golyós-menetes hajtások pontosságának növelésének kérdései*, Mechatronika, Anyagtudomány, a Miskolci

Egyetem Közleménye, Miskolc, Vol .1, No.2: 131-138, 2005

14. Hegedűs Gy; Patkó Gy; Takács Gy.; ***Golyósanya köszörűkorong-profil meghatározása CAD alkalmazással az alakítási mechanizmus alapján***, OGÉT 2005, XIII. Nemzetközi Gépész Találkozó, Szatmárnémeti, 2005. április 28 - május 1., 160 - 163. oldal, 2005
15. Hegedűs Gy; Patkó Gy; Takács Gy.; ***Golyós-menetes hajtások pontosság-növelésének kérdései***, Mechatronika, Anyagtudomány; A Miskolci Egyetem Közleménye; Miskolc, Egyetemi Kiadó; 131 - 138. oldal, 2005
16. Hegedűs Gy.: ***Golyósorsok megmunkálási pontosságának növelése***, Doktoranduszok Fóruma, Gépek és szerkezetek tervezése szekció, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki Kar Szekciókiadványa, pp. 69-74, 2005
17. Patkó Gy., Madarasi G.;; ***Színhajtással kombinált mellékhajtóművek dinamikai tulajdonságainak vizsgálata***, Doktorandusz Fórum Kiadványa, Miskolc, 2005. Gépészmérnöki Szekció, 116-121. oldal, 2005
18. Patkó Gy; Kollányi T: ***On transverse vibration of belts***, Journal of Computational and Applied Mechanics, Vol6., No. 1, pp.115-128., 2005
19. Szilágyi A., Patkó Gy., Csáki T., Takács Gy., Demeter P.: ***Nagyfrekvenciás köszörűgép dinamikai vizsgálata***, GÉP Különszám, 2005
20. Patkó Gy., Madarasi G.:: ***Analysis of dynamic properties of feed force drives combined with belt drive***, MicroCAD 2006 International Scientific Conference, Miskolc, Section K, pp. 25-30., 2006
21. Takács Gy., Patkó Gy., Csáki T., Szilágyi A., Hegedűs Gy.: ***Development of Mechatronic Systems at the Institute for Mechatronics at The University of Miskolc***, ICM 2006, IEEE International Conference on Mechatronics, July 3-5, 2006, Budapest, Hungary, pp. 326-331, 2006
22. Patkó Gy., Madarasi G., Simon G.: ***Experimental analysis of dynamic properties of belt drives***, MicroCAD 2007 International Scientific Conference, Miskolc, Section K., 2007
23. Szilágyi A., Csáki T., Patkó Gy., Tajnáfői J., Takács Gy., Helbig, J.: ***Development of a Superfinishing Combined Process***, 12 th International Conference on Tools, Miskolc, September 6-8., 2007., pp. 367-372., 2007
24. Szilágyi A., Patkó Gy., Demeter P.: ***Szuperfiniselő berendezés dinamikai vizsgálata***, 10. Magyar Mechanikai Konferencia, 2007. augusztus 27-29, 95. o., 2007