

TORZIÓS REZGÉSCSILLAPÍTÁS LEHETŐSÉGEI BELSŐÉGÉSŰ MOTOROKBAN

Kocsis Gergely

BSc hallgató, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: kocsisgergo98@gmail.com

Vadászné Bognár Gabriella

egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: v.bognar.gabriella@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A belsőégésű motorok torziós vibrációs problémái időszerű járműipari kérdések. A viszkózus torziós rezgéscsillapítók fejlesztése numerikus eszközök segítségével idő- és költséghatékony megoldást biztosít. A dolgozat célja a szerkezetekben a tömegező változások miatt létrejövő rezgések csillapítási lehetőségek áttekintése és a viszkózus torziós rezgéscsillapító elemzése. A torziós rezgéscsillapítóknál alkalmazott olaj esetén kívánjuk meghatározni a csillapítási együttható értékét egy egyszerű viszkózus torziós rezgéscsillapítóra.

Kulcsszavak: szilikonolaj, rezgések, torziós rezgéscsillapító

Abstract

Torsional vibration problems for internal combustion engines are topical automotive issues. The development of viscous torsional vibration dampers using numerical tools provides a time- and cost-effective solution. The aim of this paper is to review the damping possibilities of vibrations due to mass force changes in the structures and to analyze the viscous torsional vibration damper. In the case of oil used in torsional vibration dampers, it is desired to determine the value of the damping coefficient for a simple viscous torsional vibration damper.

Keywords: silicone oil, vibrations, torsional vibration damper

1. Bevezetés

Belsőégésű motorral hajtott járművekben forgattyús mechanizmust alkalmaznak a szükséges forgómozgás létrehozására. A forgattyús tengelyek lengőképes alkatrészek, mivel a tömegek ezekhez az alkatrészhez rugalmasan kapcsolódnak. Abban az esetben, ha az ilyen mechanikai rendszerekre periodikusan változó erő hat, akkor kívülről gerjesztett rezgések jönnek létre. Ez bizonyos esetekben a rendszer elemeinek tönkremeneteléhez vezethet. A tengelyek tönkremenetelét, illetve több kellemetlen üzemi viszonyt megelőzhetünk, ha már a forgattyús tengely tervezésekor számításba vesszük ezeket a rezgéseket és a tengelyeket megfelelő rezgéscsillapítókkal látjuk el [1].

A torziós vibráció valamely forgatónyomaték hatására létrejövő szögrezgés, amely egy tengelyre vonatkozó periodikus mozgás. A tengely csavarodik el a saját tengelye körül alternáló mozgással [2,3].

A főtengelyre ható erőhatásokat csökkenteni lehet oly módon, hogy a dugattyús motoroknál különböző szerkezeti felépítésű rezgéscsillapítókat alkalmaznak. Ezeknek a szerkezeteknek a fő célja, hogy megvédjék a motor főtengelyét.

A dolgozatban áttekintjük a rezgéscsillapítási lehetőségeket. Részletesen vizsgálva egy viszkózus torziós rezgéscsillapítót meghatározzuk a csillapítási együttható értékét.

2. Torziós rezgések és a tengelytörés

A mechanikus motorral hajtott hajók elterjedésével a torziós rezgések okozta problémák egyre inkább gyakoribbá váltak. Már az 1870-es évektől az újsághírekben rendszeresen lehetett tengelytörésekkel találkozni. A „Great Republic” lapátos gőzhajó 1872-ben három alkalommal is lapátkerék tengelytörést szenvedett. Az óceán hajózás elterjedésével azonban a gőzhajóknál egyre gyakoribbá váltak az ilyen típusú tengelytörések [4].

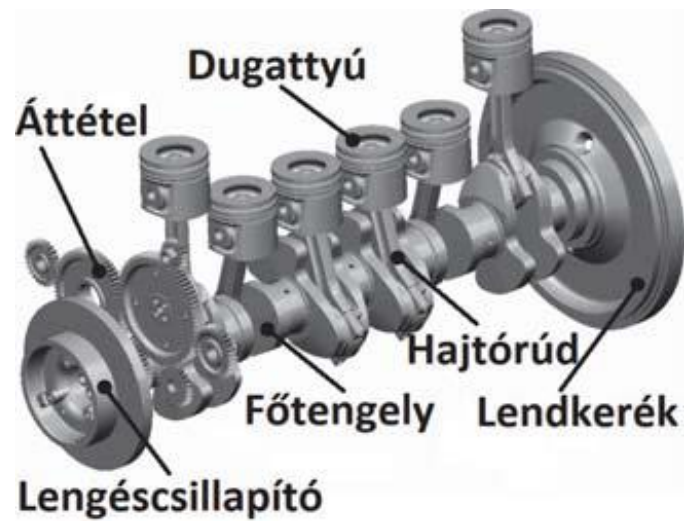
A meghajtórendszer torziós rezgéséről szóló első tanulmányok között a legjelentősebbek H. Frahm kutatásai voltak. Frahm a Besocki és a Radames nevű gőzhajókon torziós rezgésekkel kapcsolatos méréseket végzett annak érdekében, hogy megtalálja a tengelytörések okát. Lehetősége volt olyan mérésekre is, amellyel pontosan meg tudta határozni az elfordulási szöveget és a tengely szögsebességét. Ezeknek az információknak köszönhetően mutatott rá arra, hogy a tengelytörések oka a torziós rezgés. Ennek eredményeként minden dugattyús motor meghajtású hajón le kellett ellenőrizni, hogy működés közben keletkeznek-e a tengelyre veszélyes torziós rezgések [2].

A torziós vibráció olyan nagyerőátviteli rendszerekben is problémát jelent, amelyek tengelyeket, vagy tengelykapcsolókat tartalmaznak. A kontrollálják a torziós rezgéseket, melyek átviteli hibákat okozhatnak. A forgó alkatrészeket, például tengelyeket tartalmazó ideális erőátviteli rendszerben a nyomaték egyenletes és a szögsebesség állandó. Valójában a biztosított nyomaték a legtöbb erőátviteli rendszerben nem egyenletes. Erre példa a járművekben alkalmazott belsőégésű motor. Azok az alkatrészek, amelyek a generált nyomatékot továbbítják elhasználódnak és idővel pontatlanná válnak, változó nyomatékot eredményeznek. A gyakorlatban nem lehet megoldani azt, hogy egy erőátviteli rendszerben minden alkatrész folyamatosan, tökéletesen működjön. Emiatt jelennek meg az alternáló nyomatékok, amelyek a forgástengely körüli rezgést eredményezik [1].

3. Belsőégésű motorok torziós rezgései

A nagy teljesítményt nyújtó belsőégésű dugattyús motorok főtengelyén a hengerekben ébredő, periodikusan változó gázerők és a forgó, mozgó motorkomponensek tömegéből származó tehetetlenségi erők ellenőrizetlen torziós rezgésekhez vezetnek, melyek repedést, a főtengely meghibásodását okozhatják, vagy a szíjhajtáson keresztül átadódhatnak a hajtott elemekre és a meghajtott alkatrészek többletterhelését és meghibásodását okozhatják. A torziós rezgések a csapágyak és a fogaskerék-alkatrészek túlzott kopásához is vezethetnek. Amennyiben a keletkező rezgések frekvenciái a főtengely sajátfrekvenciáinak tartományába esnek, akkor annak fáradásos törését idézhetik elő [1, 6].

Az 1. ábrán látható egy főtengely a hozzá kapcsolódó más alkatrészekkel (mint például a rezgéscsillapító és a lendkerék) együtt. A keletkező káros rezgések nagymértékben csökkenthetik a tengely élettartamát és fáradásos töréshez vezethetnek a tengelyen, amelynek egy példáját a 2. ábra szemlélteti. Ez a tengely végleges tönkremenetelét jelenti. A tengelytörés miatt jelentkező költségek jelentősen nagyobbak lehetnek, mint a megelőzéséhez szükséges alkatrészek ára.



1. ábra. Főtengely rezgéscsillapítóval [1]



2. ábra. Főtengely fáradásos törése [6]

4. Torziós rezgések

A forgattyústengelyekhez rugalmasan kapcsolódó tömegek periodikusan változó erő hatására kényszerrezgéseket keltenek. Ha a lengőképes tengely saját frekvenciájával megegyezik az erő gerjesztési frekvenciájával, akkor rezonancia következik be, amely miatt a rezgések elérhetnek egy kritikus értéket, minek hatására a tengely tönkre mehet. Az egyre nagyobb kilengések megnövekedett igénybevételt okoz a tengelyen, ha meglépi a tartós szilárdságtani határt, akkor a tengely eltörik [5,8].

A rezgéseknek három különböző típusa keletkezhet a tengelyen [9]:

- longitudinális rezgések: a tengely hosszirányában leng;
- hajlító rezgések: a tengely hossz tengelyére merőlegesen leng;
- torziós rezgések: a tengely hossz tengelye körül leng.

5. Regzéscsillapítók

A rezgéscsillapítóknak több típusa létezik, úgymint súrlódó, gumírozott, rugós és viszkózus, de mindegyik típus közös jellemzője, hogy a főtengeley torziós rezgéseinek mozgási energiája egy rugalmas vagy degradálódó elem közvetítésével nyelődik el, majd alakul deformációvá és hővé [1]. Az ilyen rezgéscsillapítók az egész világon elterjedtek, széles körben alkalmazzák nagyteljesítményű dugattyús motorokban katonai, közlekedési, építészeti, mezőgazdasági és bányászati területen. A járműiparban a sportautók, teherautók és hajók esetében a viszkózus változata kezd egyre nagyobb teret hódítani egyszerűségének és kis karbantartás igényének köszönhetően.

5.1. Torziós rezgéscsillapító tárcsák

A torziós rezgések csillapítására elterjedt megoldás a torziós rezgéscsillapító tárcsa használata. A főtengeleyre elhelyezett rezgéscsillapítók két fémtárcsából állnak, amelyek között egy gumiból készült csillapító réteg helyezkedik el (3. ábra). A folyamatos igénybevétele miatt viszont idővel cserélni kell, mivel az elhasználódott rezgéscsillapító tárcsák különböző károkat is okozhatnak, például a szíjhajtásban [4].

Sok esetben a rezgések csillapítása nagyon lényeges része egy hosszútávon jól működő motornak. Másrészt pedig sokat számít a rezgéscsillapító megfelelő elhelyezése a tengelyen és a rezgéscsillapító típusa [7].



3. ábra. Elhasználódott rezgéscsillapító megrepedt gumi rétege [4]

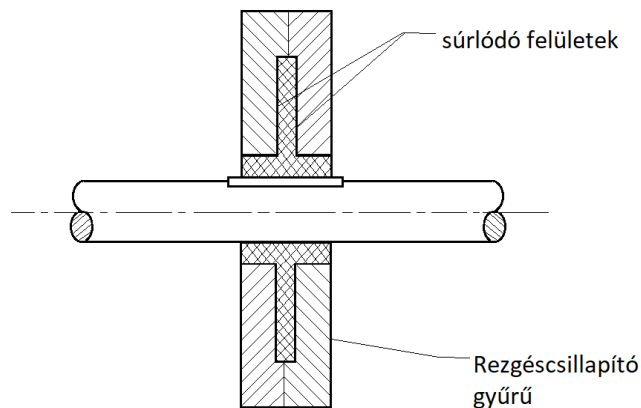
A torziós rezgéscsillapító tárcsáknak két fajtája van, az egyik a dízelmotorokra jellemző „teljesen zárt”, másik pedig a benzinmotorokra jellemző „nyitott” [4].



4. ábra. Nyitott, illetve a teljesen zárt típusú torziós rezgéscsillapító tárcsa [4]

5.2. Coulomb-féle rezgéscsillapító

A különböző típusú rezgéscsillapítók között ennél a nevéből is következik, hogy a Coulomb-féle súrlódást használja föl.

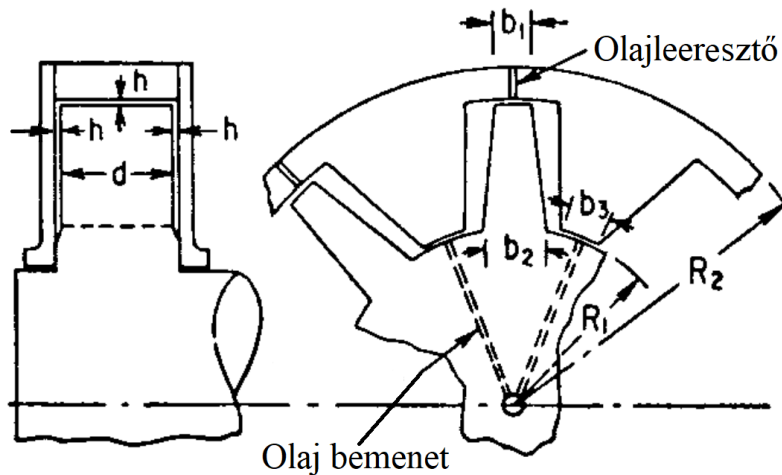


5. ábra. Coulomb-féle rezgéscsillapító

Az 5. ábrán látható a Coulomb-féle rezgéscsillapító, vagy más néven Lanchester rezgéscsillapító, amellyel gyakran találkozhatunk különböző erőátviteli berendezésekben. A rezgéscsillapító egy koaxiálisan elhelyezett gyűrűt tartalmaz az erőátviteli tengelyen, amelyet a 4. ábra mutat. A lendkerék és a rezgéscsillapító szabadon elfordulhat a tengelyen. Ez egy rugókból álló rendszer - vagy állítható kötegek - amelyekkel a súrlódó erőt lehet állítani, amit a pofákkal hoznak létre. A rezgéscsillapító gyűrűi elnyelik a rezgések energiáját. A tengely és a rezgéscsillapító gyűrűk közötti relatív mozgás miatt jön létre a Coulomb, vagy „száraz” súrlódás. Az elnyelt energia végül átadódik a környezetnek hő formájában. A cél a legtöbb alkalmazási formában, hogy a fölösleges torziós rezgéseket egyenletessé tegyük [10].

5.3. Lapátos rezgéscsillapító

A lapátos rezgéscsillapító a viszkózus folyadék sűrűlódását használja fel ahhoz, hogy ellentétes irányú nyomatékokat hozzon létre a gépek számára káros nyomatékok kioltása érdekében. A 6. ábrán látható lapátos rezgéscsillapító a főtengelyen keresztül kapott motor kenőolajat használja fel.



6. ábra. Lapátos rezgéscsillapító

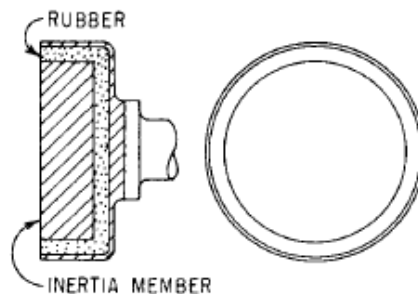
A lapátos rezgéscsillapító csillapítási hatását jellemző csillapítási együttható [10]: Olajleeresztő

$$c^* = \frac{3\mu d^2 (R_2^2 - R_1^2)^2 n}{h^3 \left[\frac{d}{b_1} + \frac{d}{b_3} + \frac{4(R_2 - R_1)}{b_1 + b_2} \right]} \quad [\text{Nms}],$$

ahol az n a lapátok száma μ a folyadék dinamikai viszkozitása és a b_1 , b_2 , R_1 , R_2 és d az 5.4. ábrán látható geometriai méretek [10].

5.4. Ragasztott gumis rezgéscsillapító

A rezgéscsillapítók hatékonysága tovább növelhető, ha a lendkereket egy megfelelő merevségű rugóval kötik a motorhoz. A 7. ábrán látható kialakításban a lendkereket és a tengelyt a tengelyhez ragasztott gumi köti össze. A gumi egyszerre működik rugóként és energia elnyelőként (hiszterézis) is és egyszerre helyettesíti a rugót és a szilikonolajat is.



7. ábra. A kötött gumis rezgéscsillapító kialakítása [10]

5.5 Viszkózus torziós rezgés csillapítók, az egyenértékű csillapítási állandó

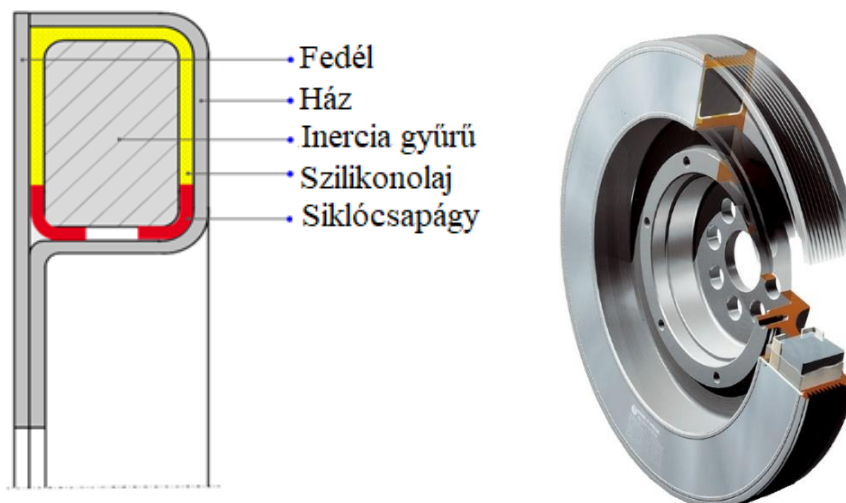
A torziós rezgés csillapítók (lásd 1. ábra) biztonság szempontjából kritikus alkatrésznek minősülnek a gépjárműiparban. A szilikonolajjal működő viszkózus rezgés csillapító hatásosan csillapítja a motorok főtengelyén fellépő torziós rezgéseket bármilyen frekvencia intervallumban. A csillapítás során elnyelt energia hőenergiává alakul, amely azonban károsan befolyásolja a szilikonolaj élettartamát [1]. A rezgések okozta problémák elkerülésére, a rezgések amplitúdójának és a gerjesztett zajok mértékének csökkentésére, valamint a motor élettartamának növelésére torziós rezgés csillapító építhető a motor főtengelyének szabad végére (lásd 1. ábra) vagy a lendkerékbe integrálva.

A viszkózus rezgés csillapítókat gyakran használnak dugattyús motorokban, mivel ezzel limitálják a torziós rezgéseket ezáltal a főtengelyre ható erőhatásokat lehet csökkenteni. Ezek a szerkezeteknek a fő célja, hogy megvédjék a motor főtengelyét. Hatékony működésük érdekében olyan helyre érdemes felszerelni ezeket, ahol nagy a szögsebesség. Általában ez a pont a motor elején helyezkedik el.

Ezek a szerkezetek lényegében egy viszkózus folyadékba helyezett inerciagyűrűből állnak. A forgattyústengelyen fellépő bármilyen torziós rezgés a folyadékot keskeny áthaladásra kényszeríti, amely átalakítja a rezgéseket hővé. Az autó felfüggesztési rendszerének hidraulikus rezgés csillapítója hasonlóan működik, mint a viszkózus torziós rezgés csillapító.

Torziós rezgés csillapítók közül a viszkózus az egyik legegyszerűbb felépítésű, mely egy zárt térből (ház) és a benne szabadon mozgó, műanyag csapággal megvezetett inerciagyűrűből áll (8. ábra).

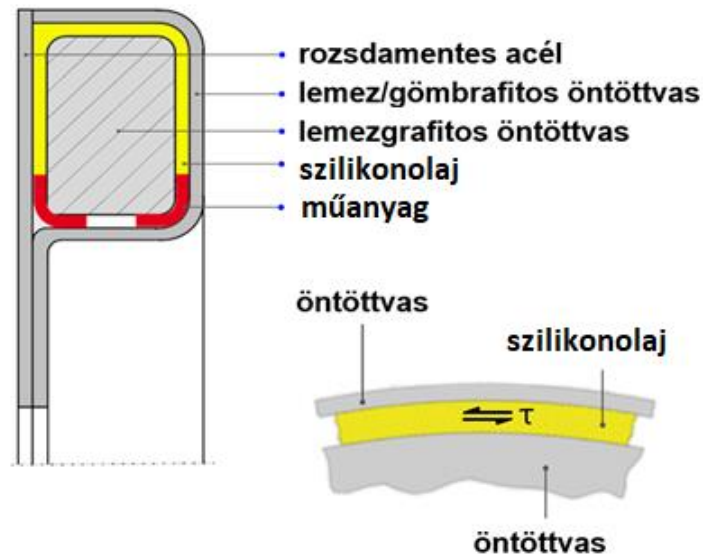
A csillapító hatás a következőképp jön létre. A tengely zavartalan forgása esetén, amikor nincsenek torziós rezgések, együtt forog a gyűrű a házzal hozzá képest relatív elmozdulás, megcsúszás nélkül. Amennyiben már kis amplitúdójú torziós rezgés is kialakul és relatív mozgásba kezd a ház a gyűrűhöz képest, akkor az olajban jelentős tangenciális irányú nyírófeszültség alakul ki. A nyírófeszültségek összessége a teljes súrlódó felületen a ház és a gyűrű között csillapító hatást eredményez [1].



8. ábra. Viszkózus rezgés csillapító felépítése metszetben, illetve kitöréssel [1,2]

A szilikonolaj nem-newtoni folyadék. A relatív sebességkülönbség a ház és az inerciagyűrű között befolyást gyakorol a szilikonolaj viszkozitására és így annak csillapító hatására is [1].

A szerkezet működése közben nagy hőmérsékletnövekedés jön létre, amely befolyásolja a szilikonolaj viszkozitását, hő hatására a viszkozitás csökken. Amennyiben a szilikonolaj hosszabb ideig magas hőmérsékletnek van kitéve, az olaj élettartama, csillapítóhatása is csökken, mivel a molekula láncok felszakadoznak.



9. ábra. Viszkózus rezgéscsillapító elemei [2]

A nagy hőhatás negatív következményeinek csökkentésének érdekében hűtőbordák segítségével vezethetik el a keletkezett hőt és tartják megfelelő hőmérsékleten a szilikonolajat. Mindkét oldalra kerülhet egy, illetve két soros kivitelben hűtőborda, mely alakja és elhelyezése meghatározó a hűtés hatékonyságára [1].

A ház és az inerciagyűrű közötti vékony rést szilikonolaj tölti ki (9. ábra). Méretekben nagyon eltérő lehet, mivel a kisebb 170 mm átmérőjűtől teljesen a 3800mm átmérőjű viszkózus torziós rezgéscsillapítót is találhatunk az iparban [1], illetve 330 mm és 3200 mm közötti külső átmérőjű dampereket [11].

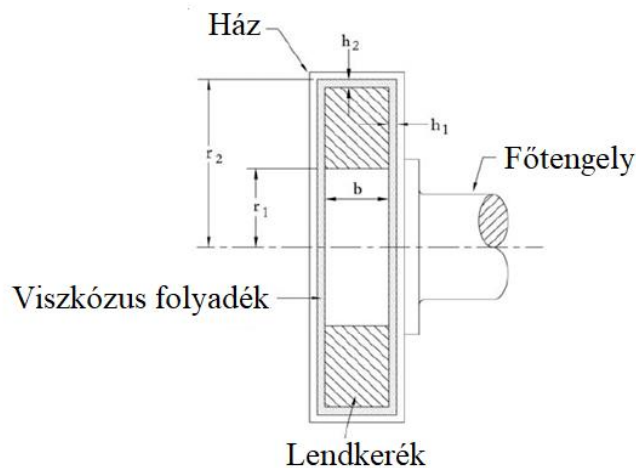
6. A csillapítási együttható

A rezgéscsillapítási tényezőt befolyásolják a geometriai méretek - a ház és a lendkerék közötti h_1 , h_2 távolságok - és a folyadék viszkozitása. A Houdaille-féle rezgéscsillapító kialakítását szemlélteti a 10. ábra [12]. A Houdaille-féle rezgéscsillapító egy zárt tokban helyezett lendkerék, amely tokból a szilikonolaj nem tud távozni. A tok belső része és a lendkerék között egy igen vékony rés található, ahová a szilikonolajat nagy nyomáson viszik be. A 6.1. ábra szerinti kialakítású rezgéscsillapító csillapítási együtthatóját az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$c^* = 2\pi\mu \left[\frac{r_2^3 b}{h_2} + \frac{r_2^4 - r_1^4}{2h_1} \right] [Nms],$$

ahol a μ a szilikonolaj dinamikai viszkozitása és a r_1 , r_2 , b , h_1 és h_2 a 6.1. ábrán bemutatott geometriai méretek méterben [12,13].

A c^* csillapítási együttható a viszkózus rezgéscsillapítóban alkalmazott szilikonolaj dinamikai viszkozitásával lineárisan arányosan változik és fordítottan arányos a h_1 és h_2 résméretekkel.



10. ábra. Viszkózus rezgéscsillapító metszete [10]

A rezgéscsillapítóban, amelyet a dugattyús motorok főtengeyének szabad végére helyeznek el a torziós rezgés rezonanciába hozza a tehetetlenségi gyűrűt, és a szilikonolajon keresztül nyíró igénybevételt okoz. Ez a nyíró hatás a torziós vibráció kinetikus energiáját hővé változtatja, amely hő a torziós rezgéscsillapító házán keresztül sugárzással átadódik.

Napjainkban az innovatív lengéscsillapítók tervezésében világ piacvezető a HASSE & WREDE [14] német cég, amely egyedi gyártású lengéscsillapító megoldásokat készít a motorépítőknek. A HASSE & WREDE 1921 óta a Knorr-Bremse Csoport tagja.

7. Összefoglalás

A dolgozatban bemutattuk a torziós rezgések megjelenését, és ezen belül a különböző működési elveken működő rezgéscsillapítást részleteztük. A rezgéscsillapítás áttekintését követően a torziós viszkózus rezgéscsillapító egyik típusa esetén, a Houdaille-féle rezgéscsillapító esetén vizsgáltuk a csillapítási együtthatót a geometriai méret és az alkalmazott szilikonolaj ismeretében. A torziós rezgéscsillapító csillapítási együtthatója változik az alkalmazott olaj (pl. szilikonolaj) viszkozitásával, amely függ a hőmérséklettől és a nyírási sebességgel.

További vizsgálataimban a torziós rezgéscsillapító numerikus szimulációját szeretnénk folytatni, amelyben a rezgéscsillapítóban levő szilikonolajban létrejövő sebesség- és nyomásváltozást kívánjuk elemezni és megvizsgálni az olaj hőmérsékletváltozásának hatását a viszkozitásra és következésképpen a csillapítási együtthatóra.

8. Köszönetnyilvánítás



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

A dolgozat az ÚNKP keretein belül íródott az „Innováció és Technológiai Minisztérium”, a „Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal” és az ÚNKP támogatásával. (A dolgozat pályázati azonosító: ÚNKP-20-1-I-ME/9.)

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

- [1] Venczel, M., Veress, Á. (2019). A viszkózus torziós rezgéscsillapítók termikus vizsgálata hőmérséklet-csökkentés céljából. *GÉP*, LXX, 38-42.
- [2] Venczel, M. (2019. július 25.). *Viszkózus torziós rezgéscsillapítók*. Előadás
- [3] http://www.mace-inc.com/steel_blue_mace_2015_april_pg_010.htm (letöltés ideje: 2020.03.25)
- [4] Batrak, Y. (2011). *Torsional vibration calculation issues with propulsion systems*, *ShaftDesigner*. <http://shaftdesigner.com/> (letöltés ideje: 2020. 04.05)
- [5] Pokorádi, L. (2002). *Energia-átalakító gépek II. Hőerőgépek*. Debreceni Egyetem.
- [6] https://www.unixauto.hu/Dok/Szerviz_Info/TB_039_E11_TVDs.pdf (letöltés ideje: 2020.03.23.)
- [7] Mészáros, Gy., Varnyú, F. (2011). *Műszaki anyagismeret*. Szegedi Tudományegyetem, https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0013_meszaros_muszaki_anyagismeret/41_forgattys_tengely.html
- [8] *Kifáradás* - https://www.uni-miskolc.hu/gepelemek/tantargyaink/501ml_gepszerkezettan-tervezes/3_kifaradas.pdf (letöltés ideje: 2020.04.02.)
- [9] Steger, H. G., Sieghart, J., Glauninger, E. (1995). *Műszaki mechanika 3. Termodinamika, szilárdságtan, rezgésstan*. Műszaki Könyvkiadó.
- [10] Harris, C. M. (2002). *Shock and Vibration Handbook*. McGraw-Hill, 5. kiadás.
- [11] <https://www.metaldyne.co.uk/wp-content/uploads/2018/04/Metaldyne-viscous-damper-brochure-2014.pdf> (letöltés ideje: 2020.06.02.)
- [12] Feese, T., Hill, C.: *Prevention of torsional vibration problem in reciprocating machinery*, 2009 Proc. 38th Turbomachinery Symposium, pp. 213-238.
- [13] Hartog, D. (1985). *Mechanical Vibrations*. Dover Publications, New York.
- [14] <https://www.hassewrede.com> (letöltés ideje: 2020.10.21.)