

ZÁRÓJELENTÉS

A négy éves kutatómunka a nagyterhelésű súrlódó felületek teherbírásának növelési lehetőségeit vizsgálta, ahol elsősorban a kenés hatékonyságának megállapítása és értékelése volt a fő feladat. A kutatási terv az elvégzendő feladatokat a következőképpen foglalta össze:

- A műanyag-fém súrlódó kapcsolatoknál a kenés hatékonyságának kutatása, a kenés kedvezőtlen hatásainak feltárása, okainak megállapítása és kiküszöbölése.
- A hagyományosnak tekinthető fém-fém csúszópároknál nagyobb teherbírású, hosszabb élettartamú műanyag-fém csúszópárok kifejlesztése, súrlódási és kopási tulajdonságainak megállapítása különböző kenési körülmények között.
- A nagy teljesítményű műanyag-fém párok kedvezőtlen súrlódási és kopási tulajdonságainak javítására legalkalmasabb kenési módszerek kiválasztása.
- A vegyes súrlódási állapotban üzemelő súrlódó kapcsolatokban a kenési folyamatok modellezése, a hidrodinamikai hatás számítása.
- A korábban már vizsgált, olajjal átitatott porózus anyagoknál kialakuló kenési folyamatok pontosabb modellezése, a változó üzemállapot hatásának figyelembevételével.
- Számítási modell kidolgozása a fogaskerékpárok fogsúrlódási folyamatainak pontosabb modellezésére, és annak alkalmazása fogaskerék hajtóművek hőteherbírásának megállapítására.

A KÜLSŐ ÉS BELSŐ KENÉS HATÁSA A MŰANYAG CSÚSZÓFELÜLETEK TEHERBÍRÁSÁRA.

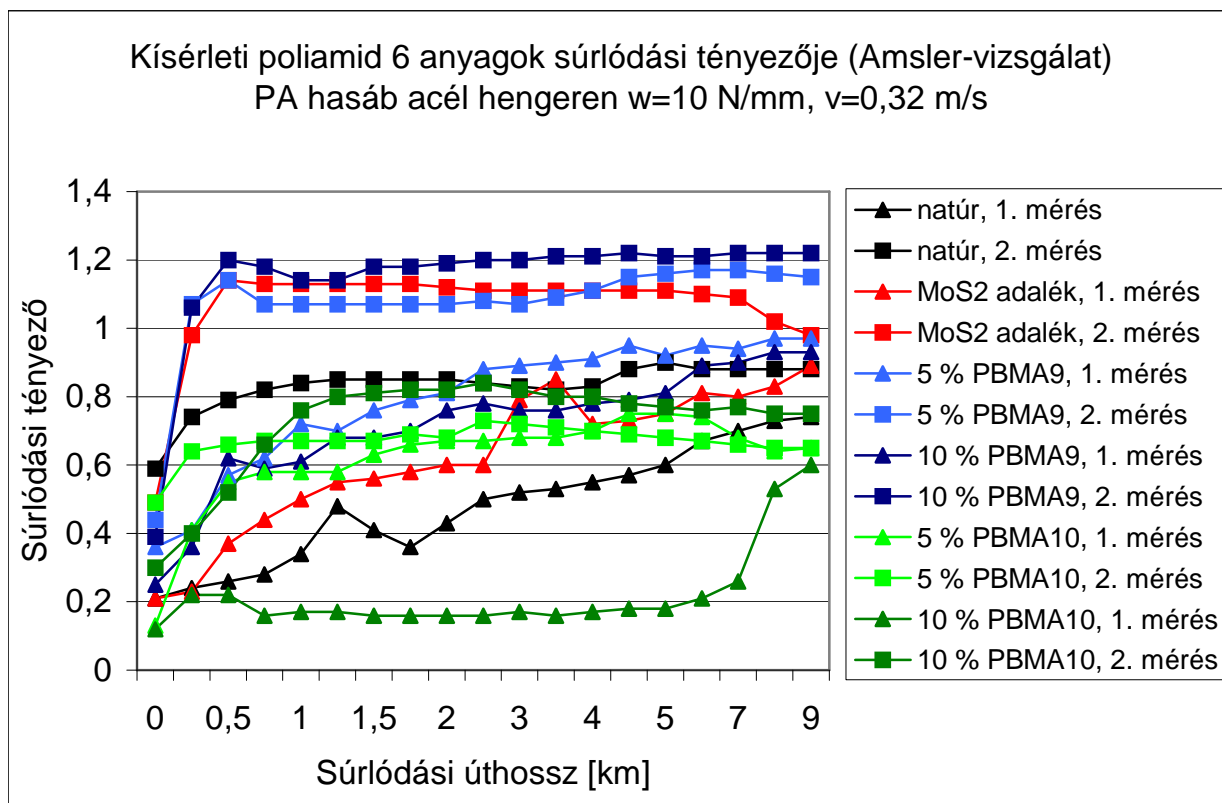
A műanyag-fém súrlódó kapcsolatok egyre szélesebb körben terjednek a gépészeti berendezésekben, miután bizonyos üzemi körülmények között lényegesen előnyösebben viselkednek, mint a fém/fém súrlódó kapcsolatok: könnyűek, korrózióállóak, kenés nélkül is működhetnek stb.. A száraz műanyag felületeken, néhány kis szabad felületi energiával rendelkező műanyagtól (PTFE, UHMWPE) eltekintve, a súrlódás viszonylag magas, ami, kis hőállóságuk és rossz hővezető képességük miatt, jelentősen csökkenti teherbírásokat. Ezért kerestük azokat a megoldásokat, ahol a kenés, mint közismerten a súrlódás és kopás csökkentés leghatékonyabb eszköze, hozzájárulhat a műanyagok tribológiai tulajdonságainak javításához.

A kutató munkánkban elsősorban az ipari gyakorlatban, széles körben használt poliamidok tribológiai viselkedését vizsgáltuk, és kenésük hatékonyságának növelését tűztük ki célul, miután ez az anyag viszonylag nagy szilárdságú, kopásálló, különösen abrázios hatásokkal szemben ellenállóbb, min a legtöbb műszaki műanyag. A vizsgálatokat kiterjesztettük mind a belső kenés, mind a külső kenés hatékonyságának vizsgálatára.

Vizsgáltuk a belső kenés hatékonyságát a kereskedelmi forgalomban kapható műszaki műanyagokon, valamint a Veszprémi Egyetemen kifejlesztett új típusú kenőanyag adalékokkal készített poliamidokon.

A Veszprémi Egyetem többféle, MoS_2 tartalmú, kenőanyag adalékot fejlesztett ki, és kimutatta kedvező tulajdonságait a belsőégésű motorok kenéséhez használt motorolajokban. Felmerült a gondolat, hogy ezek az adalékok hatékonyak lehetnek a műanyag/fém csúszópárok tribológiai tulajdonságainak javításában is, és együttműködésünk keretében 10 különböző MoS_2 tartalmú adalékot állított elő, amelyeket a BME Polimertechnika Tanszékének közreműködésével poliamid 6 műanyagba építettünk be.

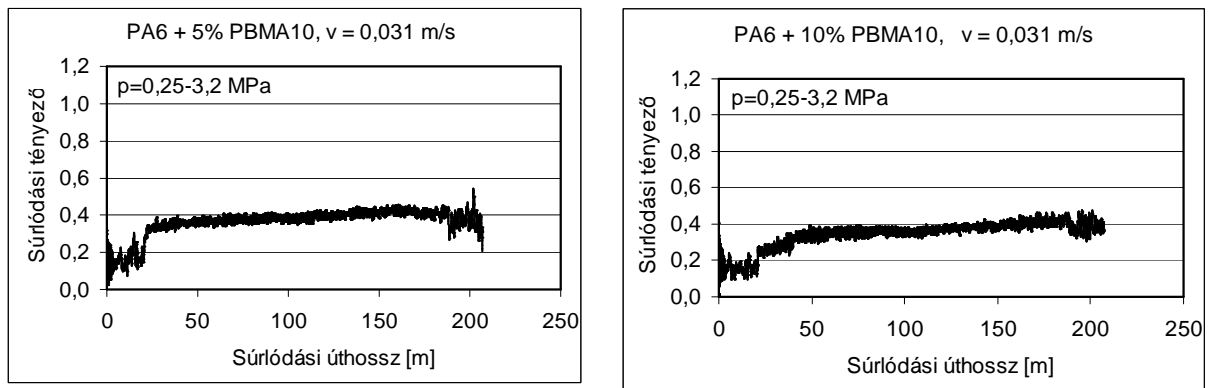
A MoS_2 adalékkal készült poliamid lapokból próbatesteket készítettünk, amelyek súrlódási tulajdonságait három különböző tribométeren vizsgáltuk. Két tribométeren műanyag rúd – acél síktárcsa párt használtunk, a harmadiknál műanyag hasáb – acél henger párt. A vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a jelentős különbség van a poliamid/acél pár súrlódási tulajdonságai között attól függően, hogy milyen körülmények között történt a vizsgálat. Jól látható ez az 1-3 ábrákon bemutatott diagramok összehasonlításakor.



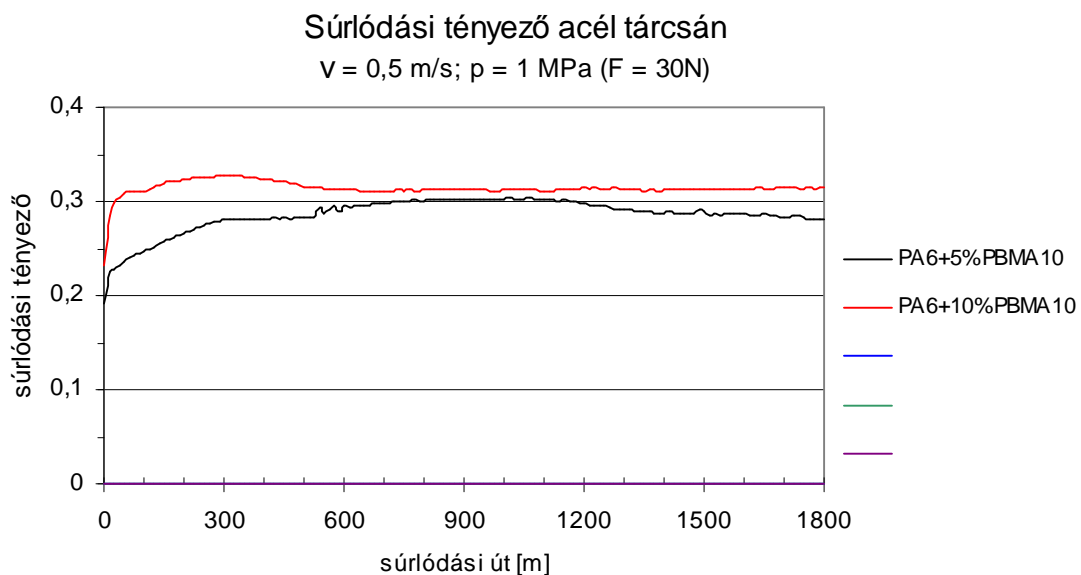
1. ábra Acél hengerrel párosított, különböző MoS_2 adalékkal ellátott PA6-ból készült hasáb súrlódási tényezőjének változása a súrlódási út során

Az 1. ábra az összes vizsgált adalékkal készült PA6 műanyag hasáb súrlódási tényezőjének változását mutatja be, köszörült acél henger felületen csúszás alatt..

A 2. ábra a rendelkezésünkre álló kis sebességű rúd/síktárcsa (Pin on disc) tribométeren végzett vizsgálatok eredményeiből kettőt mutat be. A 3. ábrán a gödöllői Szent István Egyetem laboratóriumában lévő rúd/tárcsa tribométeren végzett kísérletek eredményei közül azokat szemlélteti, amelyeket ugyanolyan adalékot tartalmazó PA6 próbatesteken végeztek el, mint amelyek mérési eredményei a 2. ábra mutatja.



2. ábra Acél síktárcsával párosított, különböző mennyiségű MoS₂ adalékkal ellátott PA6-ból készült rúd súrlódási tényezőjének változása a súrlódási út során



3. ábra Acél síktárcsával párosított, különböző mennyiségű MoS₂ adalékkal ellátott PA6-ból készült rúd súrlódási tényezőjének változása a súrlódási út során

Megfigyelhető az 1. ábrán, hogy az adalékot nem tartalmazó PA6 súrlódási tényezője a súrlódási út során fokozatosan növekszik, és a 2. vizsgálat során, amikor a PA hasáb az első vizsgálat alatt az acél henger felületén kialakult polimer filmen csúszott, rendkívül magas értéket ért el. A különböző MoS₂ adalékok a PA súrlódási viselkedését ebbe a rendszerben lényegesen nem befolyásolta. Az adalékot tartalmazó

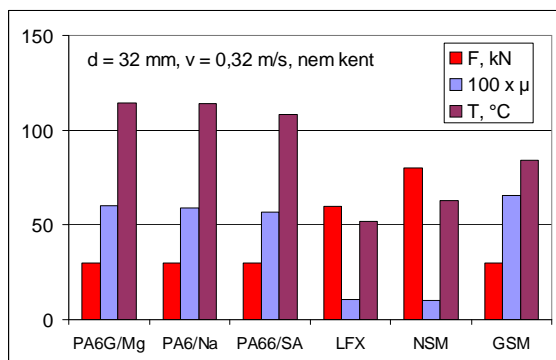
PA6 súrlódási tényezőjének változása a súrlódási úthossz alatt az első, és az ugyanazon a tárcsán megismételt második mérés alatt hasonló módon játszódtott le, mint az adalékot nem tartalmazó PA6 próbatesteknél.

Ugyanakkor a PA6 súrlódási tényezője a rúd/síktárcsa tribométer mérve lényegesen kisebb értékeket mutatott, mint az AMSLER tribométeren mért értékek. Ennek alátámasztására az eredmények közül a 2. és 3. ábra a PBMA 10 adalékot tartalmazó PA6 próbatesteken mérteket mutatja be. Összehasonlítva az 1-3. ábra adatait világosan látható a fenti megállapítás helyessége.

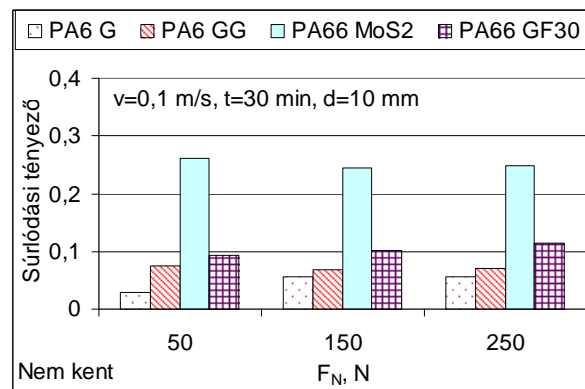
A MoS₂ közismerten hatékony szilárd kenőanyag, ezért nagyon zavarónak találtuk a kapott eredményeket, és tovább folytattuk kísérleti vizsgálatainkat részben más MoS₂ tartalmú poliamid termékeken, részben más vizsgálati körülmények között.

Nem kent síklócsapágy perselyeken végzett vizsgálatok során összehasonlítottuk a hazánkban széles körben használt poliamidok, azok kenőanyagot tartalmazó változataik, valamint néhány más műszaki műanyag súrlódási tulajdonságait és határterhelését. Vizsgálataink során megállapítottuk, hogy a műanyag csapágypersely acél csap közötti súrlódási tényező még kisebb, mint amit a rúd/síktárcsa tribométeren mértünk, és nagyobb a poliamidok súrlódási tényezője, mint más (POM vagy PETP) műanyagoké, és a MoS₂ itt sem csökkenti, hanem inkább növeli a súrlódási tényezőt.

Jól látható ez a 4. ábrán, amely a három adalékot nem tartalmazó (PA6G/Mg, PA6/Na, PA66/SA), és három adalékolt poliamid (LFX - PA6 szilikonolaj adalékkal, NSM - PA6 szilárd kenőanyag adalékkal, GSM – PA6 MoS₂ adalékkal) síklócsapágy perselyen külső kenés nélkül mért súrlódási tényező (100 szoros) értékét, valamint határterhelését és véghőmérsékletét mutatja.



4. ábra Nem kent adalékolatlan és adalékolt poliamidok határterhelése, valamint súrlódási tényezője és hőmérséklete ezen a terhelésen



5. ábra Poliamidok súrlódási tényezője különböző terhelésen (rúd/síktárcsa páron mérve)

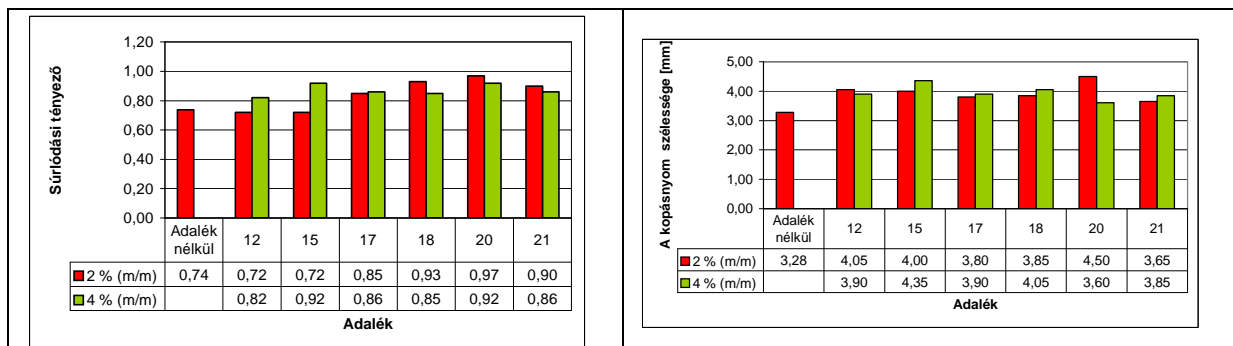
Rúd/síktárcsa tribométeren további poliamid típusok súrlódási tényezőjét vizsgáltuk, és a fentiekhez hasonló következtetéseket vonhattunk le, mint a korábbi vizsgálatok során. Itt sem volt hatékony a MoS₂ a poliamidok súrlódásának csökkentésében, amint azt az 5. ábrán bemutatott eredmények szemléltetik.

Vizsgálatainkat kiterjesztettük más kenőanyag adalékot tartalmazó poliamidokra is, és kimutattuk, hogy elsősorban azok az adalékok hatékonyak, amelyek jelentősen csökkentik a poliamid szabad felületi energiáját, és ezzel az érintkező felületek adhéziós energiáját, a súrlódási tényező adhéziós összetevőjét.

Összehasonlításként laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk a poliamidok mellett más műanyagokon is, többek között a nagy teherbírású PEEK alapú anyagokon, ahol a belső és külső kenés hatékonyságát egyaránt értékeltük. Itt is találtunk érdekes eredményeket. Például, megállapítottuk, hogy a nem kent állapotban a legkedvezőbb súrlódási tulajdonságú PEEK alapú műanyag, a külső kenés hatására, lényegesen kedvezőtlenebbül viselkedik, mint az az anyag, amely kenés nélkül volt kedvezőtlenebb.

A laboratóriumi vizsgálatok eredményei tehát rámutattak arra, hogy a belső kenés hatékonyságában jelentős szerepet játszanak a csúszópár üzemi körülményei. A várakozásokkal ellentétben a kenőanyag tartalom nem mindig jár együtt a súrlódás és kopás csökkenésével, sőt gyakran, a belső kenés inkább növeli, mint csökkenti a súrlódást (és a kopást).

A megszerzett tapasztalatok alapján tovább folytattuk a laboratóriumi vizsgálatokat a kenőanyaggal adalékolt műanyag/fém csúszó párokon a súrlódási és kopási jellemzők meghatározására. A Veszprémi Egyetem Ásványolaj és Széntechnológia Tanszéke újabb adalék típusokat fejlesztett ki, amelyeket a fentitől kedvezőbb tribológiai tulajdonságú poliamidba építettünk be. Az új adalékok hatását az AMSLER tribométeren vizsgáltuk. Az adalékokból a korábbinál kevesebbet tettünk az új műanyag mátrixba (2 és 4 súly %-ot). Az eredményeket a 6. és 7. ábra foglalja össze, ahol az adalékokat számok (12...21) jelölik.



6. ábra Acél hengerrel párosított, különböző MoS₂ adalékkal ellátott PA6-ból készült hasáb súrlódási tényezője és a kialakult kopásnyom szélessége. Vonalterhelés 10 N/mm, csúszási sebesség 0,32 m/s

Az eredményeket összehasonlítva a korábbi eredményekkel megállapítható, hogy a súrlódási tényező alacsonyabb, mint a korábbi méréseknél, de a MoS₂ adalékok itt sem csökkentették a súrlódási tényezőt az alapanyaghoz képest, sőt a kopásnyom is minden esetben nagyobb volt.

KENÉS HATÁSA A NAGY TERHELÉSŰ FÉM/FÉM SÚRLÓDÓ PÁROK VISELKEDÉSÉRE

A fémből készült súrlódó kapcsolatok teherbírását nagymértékben meghatározzák azok a változások, amelyek a terhelésből és a súrlódásból eredő igénybevételek

hatására az érintkező felületek környezetében játszódnak le, és normális körülmények között, a felületen kedvező tulajdonságú védőréteget alakítanak ki. E védőrétegek kialakulásában jelentős szerepet játszanak az anyag tulajdonságai, az üzemi körülmények, valamint a kenés. Ezért részletesen vizsgáltuk a kent felületeken lejátszódó alakváltozási és súrlódási folyamatok közötti kapcsolatokat, a kialakuló felületi rétegek tulajdonságait acél, bronz és alumínium felületeken. Megállapítottuk, hogy a súrlódási folyamat milyen hatást gyakorol a kialakuló felületi rétegekre, megállapítottuk a száraz és a kent felületeken kialakuló felületi rétegek tulajdonságai közötti különbséget, és bizonyítottuk, hogy a súrlódási erő jelentős mértékben hozzájárul a felületen lejátszódó alakváltozási folyamatokhoz és a felületi rétegek kialakulásához. Meghatároztuk a nagy terhelésű, kis sebességgel, egymáson elcsúszó fémfelületeken megjelenő károsodási formákat a terhelés függvényében, miközben vizsgáltuk a kenés hatékonyságát. Kimutattuk a különböző fémfelületeken megjelenő károsodási formák közötti különbségeket, és a felületen megjelenő szövetszerkezet változások hatását. Ezek a kutatásaink befejeződtek. A kutatási eredményeket Ph.D. dolgozat is összefoglalja és értékeli.

FOGAKERÉK HAJTÓMŰVEK ÉS BOLYGÓMŰVEK KUTATÁSA

A fogaskerék hajtóművek és különösen a bolygóművek a nagy teljesítmény sűrűségű gépszerkezetek közé tartoznak, amelyek teherbírásának növelése gyakorlati szempontból is rendkívül fontos. Ezért kutatásainkat kiterjesztettük ezekre a területekre is, ahol egyrészt a hajtóművek kenésének hatékonyságával, másrészt a bolygóművek jellemzőinek a teherbírásra és a határfokra gyakorolt hatását vizsgáltuk. Sajnos a kutatásban közreműködő doktorandusz hallgató, családi okok miatt, kénytelen volt a kutatómunkát abbahagyni, és a kereső foglalkozást választani. Szerencsére sikerült helyette egy fiatal mérnököt és egy egyetemi hallgatót bevonni a feladatok megoldásába, azért a kutatást folytathattuk.

A kutatás során megvizsgáltuk a kenőanyag kiválasztás hatását a fogaskerék kapcsolatok súrlódási veszteségeire. Vizsgálati módszert dolgoztunk ki, vizsgáló berendezést terveztünk és építettünk a fogsúrlódás szempontjából kényes bolygóművek veszteségeinek vizsgálatára, és a hő-határ terhelés mérésére.

Kutatásokat folytattunk a nagy teljesítmény sűrűségű bolygóművek területén. Vizsgáltuk a többlépcsős bolygóműves dobhajtásokat, valamint a nagy teljesítményű szélerőművekben használható, teljesítmény megosztással rendelkező bolygóművek viselkedését vizsgáltuk.

SIKLÓCSAPÁGYAK VIZSGÁLATA

Laboratóriumi vizsgálatainkat kiterjesztettük a siklócsapágyak vizsgálatára is, és részletes mérésekkel összehasonlítottuk a kent és nem kent műanyag siklócsapágy perselyek teherbírását és súrlódási jellemzőit, megállapítottuk a kenés hatékonyságát. Megállapítottuk, hogy a műanyag siklócsapágy persely/acél csap párok egészen más tribológiai tulajdonságokkal rendelkeznek mint a műanyag hasáb/henger súrlódó párok, és a kenés sokkal nagyobb hatást gyakorol a műanyagok siklócsapágyakra, mint a csúszó hasábokra. Még a belső kenés is sokkal hatékonyabb.

Vizsgáltuk a változó terhelésű hidrodinamikusan kenésű siklócsapágyak viselkedését és számítási módszert dolgoztunk ki teherbírásuk meghatározására.

ÖSSZEFOGLALÁS

A négy év alatt elvégzett kutató munkát sikeresnek tekintjük, mert

- Jelentős eredményeket értünk el a műanyag/acél súrlódó kapcsolatok teherbírásának kutatásában: a belső és a külső kenés hatékonyságának vizsgálatában. Az eredmények felhasználásával Ph.D. dolgozat készül.
- Sikert értünk el meghatározni az egymáson terhelés alatt kis sebességgel csúszó fémfelületeken kialakuló változások, felszíni rétegek törvényszerűségeit, a kenés azokra gyakorolt hatását. Az eredményeket Ph.D. dolgozat foglalja össze.
- Jelentős eredményeket értünk el a kettős gépszerkezetek, elsősorban a fogaskerék hatóművek, bolygóművek és siklócsapágyak kutatása területén, amelyet a jövőben is folytatni kívánunk. A kutatásba bekapcsolódott hallgató eredményeit TDK dolgozatban ismertette. Újabb kutatási eredményeiről előadást tart a GÉPÉSZET2006 konferencián, és 2006-ban egy második TDK dolgozatot is készít.
- Kutatási eredményeinket 60 publikációban hoztuk nyilvánosságra, hazai és külföldi folyóiratokban, valamint Magyarországon és külföldön megrendezett rangos nemzetközi konferenciákon tartott előadásokban.

A kutatáshoz nyújtott OTKA támogatást ezúton is köszönjük.