

Gördülési ellenállások összehasonlítása

Kerekes Ferenc Attila*, Nyári Péter**,
Szabó József Zoltán***

*Óbudai Egyetem, Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet
1081 Budapest Népszínház utca 8. (Tel: +36-1-666-5361; e-mail: kerekes.attila@bgk.uni-obuda.hu)
**Óbudai Egyetem, Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet
1081 Budapest Népszínház utca 8. (Tel: +36-1-666-5361; e-mail: nyari.peter@bgk.uni-obuda.hu).
***Óbudai Egyetem, Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet
1081 Budapest Népszínház utca 8. (Tel: +36-1-666-5451; e-mail: szabo.jozsef@bgk.uni-obuda.hu)

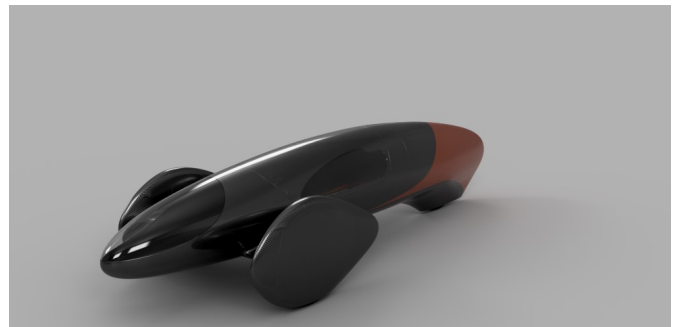
Kivonat: Az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar OEKO Shell Eco-Marathon csapata már 8. éve vesz részt a nemzetközi üzemanyag takarékosági versenyen benzines prototípus kategóriában. A versenyautó tervezése során fő szempontok a környezetbarát technológiák alkalmazása, az elérni kívánt eredményt befolyásoló energiaveszteségeket okozó hatások csökkentése és az ergonomikus elvek alapján történő belső tér kialakítása a motor- és pilótaterben egyaránt. Jelen cikkünkben a versenyautó tüzelőanyag-fogyasztását meghatározó gördülési ellenállással foglalkozunk. Megvizsgáljuk, hogy a gumiabroncs fajták és a csapágyak milyen módon befolyásolják a gördülési ellenállásból származó veszteségeket.

1. BEVEZETÉS

A nemzetközi Shell Eco-Marathon üzemanyag takarékos versenyen induló csapatok fő célja, egy olyan jármű fejlesztése és megépítése, majd azzal való versenyzés, amely a lehető legnagyobb távolságot képes megtenni minél kevesebb üzemanyag felhasználásával. A versenyre középiskolák, valamint felsőfokú intézmény diák csapatai nevezhetnek és mérhetik össze tudásukat, járművüket. A versenyt már négy kontinensen, Európában, Amerikában, Ázsiában és Afrikában is megrendezik. A versenyen lehetőség van többféle kategóriában nevezni, mind energiaforrás, mind pedig jármű kialakítás tekintetében. A jármű kialakítását tekintve lehet városi vagy prototípus kategóriájú. Az energiaforrást nézve lehetséges fosszilis energia (benzín, gázolaj, gáz) vagy elektromos energia (akkumulátor, üzemanyagcella). A verseny során a csapatoknak 4 alkalom áll a rendelkezésre, hogy az 1,7 km hosszúságú pályán megtegyenek 10 kört mindössze 39 perc alatt, ami átlagosan 26 km/h sebességet jelent. Az eredményeket km/liter mértékben adják meg, melyet az alapján számolnak ki, hogy a jármű a 10 kör megtétele alatt mennyi üzemanyagot fogyasztott, majd ezt az értéket arányosítják 1 liter 95-ös oktán-számú benzín energia tartalmához. Az induló csapatok a projekt révén megtanulnak csapatban dolgozni és nem csupán a műszaki területtel, hanem a projektmenedzsmenttel, a költségvetéssel, illetve a kommunikációval is foglalkozniuk kell (Kerekes, 2017).

Annak érdekében, hogy a lehető legnagyobb távot tegyék meg, e járműveknek minél kisebb súllyal, áramvonalas karosszériával és optimalizált hajtáslánccal kell rendelkezniük. Az induló járművek 90%-a könnyű kompozit karosszériával rendelkezik, amely legnagyobb hányadban karbon- vagy

üvegszövet erősítésű műgyanta kötésű. A kompozit technológia használatával a súlycsökkentést hatásosan lehetett elérni a járműveknél, ezzel is növelve az elérhető hatótávot. Tervezés során másik fontos terület azon veszteségek csökkentése, melyekre a jármű tervező csoportnak lehetősége van, Ilyenek lehetnek a gördülési- és a légellenállásból származó veszteségek (Nyári, 2017)..



1. ábra OEKO csapat 2017 évi versenyjármű koncepciója (saját szerkesztésű ábra)

Az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Shell Eco-Marathon OEKO nevű csapatának eddigi legjobb eredménye az 565,5 km/l, melyet benzines prototípus kategóriában értünk el. Az 1. ábrán a karosszéria karbon kompozit monocoque¹ kialakítása látszik.

¹ Monocoque: Francia eredetű szó, jelentése: egy héj. Ez a fajta vázszerkezet rendkívül jól viseli a rá ható terheléseket, nagy merevség, kis tömeg jellemzi.

A járművünk első kerék kormányzású és összesen három kerekű. A meghajtásról egy benzines Honda GX35, 35 cm³-es átalakított fűkasza motor gondoskodik, amely centrifugál kuplungon keresztül, lánchajtással adja át a nyomatékát a hátsó kerékre. A motort elektronikus vezérlőegységgel tudjuk vezérelni a beszerelt beavatkozók és jeladók segítségével.

Az első évtől kezdve kutatjuk azokat a jövőbe mutató technológiákat, amely hozzájárulhat a kitűzött 1000 km/liter eredmény eléréséhez. 2014-es évtől kezdődően nem csupán a kis fogyasztással szeretnénk környezetbarátok lenni, hanem a jármű teljes életciklusára nézve. Ezt az elvet szem előtt tartva, célunk, hogy a tervezés első lépésétől kezdve, a kivitelezésén át, a tesztelésig és a jármű megsemmisítésig ne használjunk a szükségesnél több energiát, valamint a jármű életciklusa végén a lehető legkevesebb nem újrahasznosítható hulladék keletkezzen. Ezen felül a gördülési- és légellenállásból származó veszteségeket is szeretnénk a lehető legnagyobb mértékben csökkenteni.

A cikk célja a prototípus járművünk gördülési ellenállásának csökkentéséhez vezető legjobb megoldások feltérképezése és csökkentési lehetőségeinek feltárása. Továbbá a gördülési ellenállás csökkentésére szolgáló megoldások hatásainak összehasonlítására szolgáló tesztberendezés koncepciójának bemutatása.

A tanulmány az alábbi fejezetekből áll. A 2. fejezet az előző évek tapasztalatait és a fejlesztési irány kitűzését mutatja be. A 3. fejezet a járművünk esetén fellépő gördülési ellenállást befolyásoló tényezőket vesszük sorra. A 4. és 5. fejezet a tesztberendezést és a vele végzett mérések eredményét mutatja be. Az 6. fejezetben a cikk összefoglalására kerül sor.

2. JÁRMŰVEL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK ÉS A LEGFŐBB VESZTESÉGEK

Az útjainkon közlekedő járművek esetén sokféle veszteség lép fel, amelyekkel a tervezőknek számolni kell a tervezési folyamatban. Abban az esetben, ha a veszteségek csökkentésére nem fordítunk kellő figyelmet a jármű hatásfoka alacsony mértékű lesz. A kis hatásfokú jármű több szempontból is hátrányos, hiszen a jármű tulajdonosoknak fontos szempont az alacsony fogyasztás, a magas teljesítmény, valamint az alacsony károsanyag-kibocsátás. Ezeket csak úgy érhetjük el, ha a jármű tervezése során számításba vesszük azokat a veszteségeket, amelyekre a tervezési folyamatban hatást tudunk gyakorolni. Az OECO csapat versenyjárműve esetén sincs ez különben, mi is törekszünk már a tervezés kezdetén arra, hogy a fellépő veszteségeket és kívánalmakat körültekintően gyűjtsük össze.

A versenyjárművel szemben támasztott legfőbb elvárások:

- alacsony jármű önsúly;
- kompozit karosszéria;
- a versenypályához optimalizált motor és hajtáslánc;

- pálya feltérképezése, annak megfelelő mechanikai kialakítás és vezérlés;
- stabilitás és irányíthatóság;
- állítható futómű geometria;
- járműre ható veszteséget okozó környezeti hatások minimalizálása;
- gördülési- és légellenállásból származó veszteségek csökkentése.

Amikor nincs lehetőség a veszteséget okozó hatást csökkenteni vagy kiiktatni, akkor azzal csak kalkulálni tudunk. Azoknál az okoknál, ahol a tervezői munkától függhet az elért eredmény, ott a lehetőségeinkhez mérten igyekszünk a legjobb megoldást kidolgozni. A lehetőségeink függenek a költségektől, az időtervtől és a csapatot alkotó személyek tudásától, valamint képességeitől.

A felsorolt veszteséget okozó hatások közül a továbbiakban, a versenyautó tüzelőanyag-fogyasztását befolyásoló gördülési ellenállással foglalkozunk. Megvizsgáljuk, hogy a gumibroncsfajták és a csapágyak milyen módon változtatják a gördülési ellenállásból származó veszteségeket.

3. GÖRDÜLÉSI ELLENÁLLÁS

A járművünk gördülési ellenállásának legnagyobb hányadát a forgó mozgást végző kerekek gördüléséből származó ellenerő alkotja, amely több hatásból adódik össze. Ezek a gumibroncs és a keréktárcsa rugalmas torzulása, a csapágyak gördülési ellenállása, valamint a futómű beállítási paraméterei által okozott ellenállás. A jármű tüzelőanyag-fogyasztásának átlagosan 20%-a gördülési ellenállás legyőzésére fordítódik (Kerekes, 2017).

Gumibroncs gördülési ellenállásából származó $F_{görd}$ erő meghatározása az alábbi összefüggést használjuk.

$$F_{görd} = f_{görd} \cdot m \cdot g, \quad (1)$$

ahol:

- $f_{görd}$ — a gördülési együttható;
- m — jármű össztömege pilótával együtt;
- g — gravitációs gyorsulás.

A gumibroncs $f_{görd}$ gördülési együtthatója függ többek közt a talaj minőségétől, a mozgás sebességétől, az alkalmazott nyomástól. A gördülési együttható a gördülési ellenállásból származó $F_{görd}$ erő és a kerékre ható normál F_N erő hányadosa. Különböző típusú és kivitelű gumibroncsok $f_{görd}$ gördülési együtthatójának alakulása látható az 1. táblázatban (Santin, 2007).

1. táblázat Gördülési együttható beállított egy- sleges paraméterek mellett

Gumiabroncs típus	$f_{görd.}$ (aszfaltra származtatva)
Személygépjármű abroncs	0.013
Hagyományos, kereskedelmi forgalomban kapható kerékpárbroncs	0,006
Speciális Michelin 44-406 diagonál kialakítású kerékpárbroncs	0.0024
Speciális Michelin 45-75R16 radiál kialakítású kerékpárbroncs	0,00081

3.1 A gumiabroncs hatása a gördülési ellenállásra

Gumiabroncs által keltett veszteséget több hatás is okozza. A futófelület a gumiabroncs forgása közben deformálódik miközben kapcsolatba lép az útburkolattal, ezáltal az alakváltozás közben a gumi felmelegszik, amely a belső-, illetve a talaj és a gumi közti súrlódásból tevődik össze. Ez az energia hő formájában távozik, ez teszi ki a gumiabroncs gördülési ellenállásának 90%-át (Kerekes, 2017).

Minél nagyobb a gumiabroncs gördülési ellenállása, annál nagyobb erőre van szükség a gépkocsi haladásához. Ha a motornak többet kell dolgoznia csupán a gumiabroncs gördülési ellenállásának legyőzése érdekében, több üzemanyagot fogyaszt. Gondoljunk úgy a gördülési ellenállásra, mintha a gépkocsinak állandóan egy 1%-os emelkedőn kellene felmennie. A gördülési ellenállás nem szüntethető meg teljesen, de a lehető legnagyobb mértékű csökkenése azt jelenti, hogy a jármű hajtásához kevesebb tüzelőanyagra lesz szükség.

A gumiabroncs deformációjának mértéke a gumiabroncsot a talajhoz nyomó erőtől, valamint az út és a gumiabroncs jellemzőitől függ, amelyeket a gördülési együtthatóval veszünk figyelembe.

A gumiabroncs jellemzői:

- a maximális guminyomás;
- futófelület és oldalfal méret;
- tömlős vagy tömlő nélküli.
- a gumiabroncs profilja;
- anyagösszetétel;
- mintázat;
- oldalfal és futófelület szövetszerkezete;

- keménység;

Gördülés közben a kerék, illetve a talaj is deformálódik, hiszen a kerék és a talaj sem rugalmatlan, így a befektetett munka nem térül meg teljesen, a forgás mindig teljesítmény veszteséggel, azaz hő keletkezésével jár. Az alábbi táblázat a gumiabroncs különböző talajra viszonyított gördülési együttható alakulását tartalmazza (2. táblázat).

2. táblázat A gumiabroncs különféle talaj minőségre vonatkoztatott gördülési együtthatója

Úttípus	Gördülési együttható
Aszfaltbeton	0,01-0,02
Kockakő	0,023-0,030
Száraz kötött talaj	0,025-0,035
Nedves kötött talaj	0,050-0,15
Homok	0,10-0,3

A radiális gumiabroncs kialakítás alacsonyabb gördülési ellenállási együtthatót eredményez a diagonál abroncsnál. Radial kialakításnál a kordszalak 90°-ban metszik a korona vonalat és a futófelület szélességében öv helyezkedik el 15-20°-os korona szöggel, így kevesebb betéttel ugyanolyan igénybevételre képesek elviselni a gumiabroncs, mint a diagonál esetén. A kevesebb betét hatására a gumiabroncs súlya csökken, amely nekünk jelentős szereppel bír, hiszen a kerék tehetetlensége ezáltal ugyancsak csökken. A kevesebb betét nem csak a súlyra, hanem a belső súrlódás csökkenésre is jótékony hatással van.

A gumiabroncs összetételében manapság a kén a vulkanizálás legfőbb kelléke. A vulkanizálás során alakul át a plasztikus képlékeny kaucsuk elasztikus, vagyis rugalmas gumivá. Az abroncskeverék mintegy harmadát a korom alkotja; a koromtól lesz fekete a gumi. A szintetikus gumi keveréknek köszönhetően csökken a gumi gördülési ellenállása.

Számunkra előnyös a tömlő nélküli gumiabroncs használata, mert azzal csökkenteni tudjuk a kerék súlyát, illetve a tömlő és a külső gumiabroncs közti súrlódás megszűnik, ezzel megszüntetve a befektetett energia egy részének a hővé alakulását (Szabó, 2017). Ami hátrányt jelent abban az esetben, ha nincs belső tömlő, hogy a levegő és ezzel a nyomás veszteség esélye megnövekszik (2. ábra). A tömlő nélküli gumiabroncs

használatához különleges és egyben drágább felni kialakítás szükséges.



2. ábra Általunk használt gumiabroncsok (saját szerkesztésű ábra)

Az oldalfal és a futófelület keménysége nagyban befolyásolja gördülési ellenállás csökkenését, ezáltal növelve a hatótávolságát. A keményebb oldalfalnak és futófelületnek köszönhetően a gumi torzulása csekélyebb, így a hőtermelése is kisebb. A hátránya, hogy az útburkolat egyenetlenségeit kevésbé tudja csillapítani, ezzel megnövekszik a járműre ható csillapítatlan erőhatás, amely káros rezgéseket kelthet a járműben, ami tönkremenetelhez vezethet és egyben a pilótának is rontja a komfortérzetét.

A magasabb nyomáson használható gumiabroncs jótékony hatást fejt ki gördülési ellenállás csökkentésére, mert ugyanazt az eredményt valósítja meg, mint amit a keményebb oldalfal és futófelület esetén tapasztalunk. A nagy nyomás veszélyeket is hordoz magával, mert a nagyobb nyomáshoz erősebb és precízen kialakított felni szükséges, amely növeli a költségeket, legyen az hagyományos kialakítású vagy karbon kompozit felni. Ha a felni nem képes elviselni a nagy nyomást könnyen balesethez vezethet, menet közben szétnyílnak a felni, ezzel veszélyeztetve más csapat járműveinek és a mi pilótánk biztonságát.

3.2 A kerékcsapágyazás

A kerék gördülési ellenállásának része a kerékcsapágyak gördüléséből származó ellenállás F_{csp} . Ez az érték alacsony, a teljes gördülési ellenállás kevesebb, mint 1%-át adja, az átlagos ellenállás értéke körülbelül 0,0015.

$$F_{csp} = \mu \cdot m \cdot g \cdot \frac{d}{D}, \quad (2)$$

ahol:

- μ — a csapágy súrlódási együttható;
- d — csapágy gyűrű átmérő;
- D — kerékátmérő.

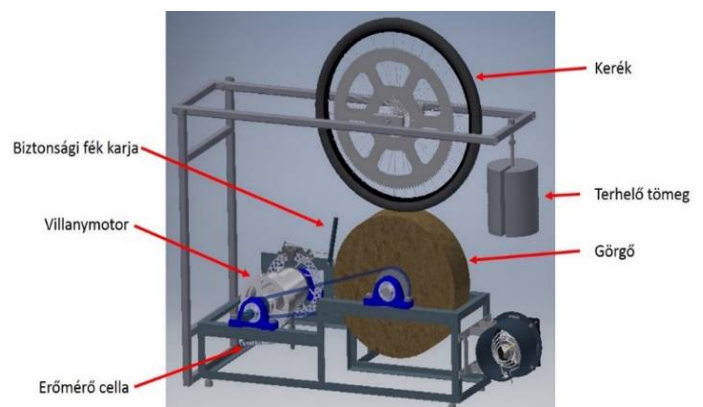
Természetesen ez az érték függ csapágy típusától, de a különbség csekély mértékű. Számos csapágygyártó termékeit

vizsgáltuk meg, amelyből le tudjuk vonni azt a következtetést, miszerint a mi esetünkben, ahol a csapágyak messze nem érik el az élettartamuk 10%-át sem, kevésbé számít, hogy a csapágy energiatakarékos-e vagy sem. Az SKF specifikációjából is kiderül, hogy a várható energia-megtakarítás energiatakarékos csapágyak esetén csak jóval magasabb fordulatszám tartományban és a teljes életciklust követően mérhető, amely 5 % körüli megtakarítást jelentene. Ami már észrevehetően befolyásolja a kerék gördülését, az a csapágyak tömítésére szolgáló porvédő gyűrű súrlódása, a kenés milyensége és a szerelés pontossága.

4. GÖRDÜLÉSI ELLENÁLLÁS MÉRÉSÉRE SZOLGÁLÓ TESZTBERENDEZÉS

Az évek során a gördülési ellenállás csökkentésére sokféle megoldást dolgoztunk ki és a versenyek alkalmával is többi csapat által alkalmazott megoldásokat gyűjtöttünk össze. Vannak csapatok, akik a gumiabroncs nagyobb fokú terpesztésében, vagy nagyon drága, de kis gördülési ellenállású csapágyban, vagy a könnyű felniben, vagy a gumiabroncs típusában és annak nyomásértékében látják a hatótáv növelésének legnagyobb mértékét. Ha minden egyes hatótáv növelésére szolgáló megoldást szeretnénk megvalósítani, akkor hatalmas költségekkel számolhatunk. Mi abban hiszünk, hogy azokra a fejlesztési területekre célszerű fókuszálni, amelyek nagyobb mértékben járulnak hozzá az elérni kívánt eredményhez. Annak érdekében, hogy a különböző megoldásokat rangsorolhassuk, mérőpadot építettünk.

Jelenleg a meglévő görgős fékpadunkat fejlesztettük tovább úgy, hogy alkalmas legyen a feladatra (3. ábra).



3. ábra Görgős kivitelű tesztberendezés (saját szerkesztésű ábra)

A belsőégésű motor segítségével forgásba hozzuk a teljes hajtásláncot, így a hátsó keréken keresztül a mérőpad görgőjét. A görgő egy hajtóláncon keresztül forgatja a fékezésért felelős generátort, melynek a gerjesztése egy saját készítésű elektronikán keresztül állítható, így a fékező erő pontosan beállítható, és bármikor reprodukálható. Ennek segítségével egyszerű gurulást, vagy akár emelkedőn haladást is tudunk szimulálni. A berendezés alkalmas arra is, hogy szabadkifutásos méréseket végezzünk rajta.

Szabadkifutásos mérés során a jármű motorját 4000 $\frac{1}{\text{perc}}$ fordulatra gyorsítjuk, majd a motorvezérlő elektronika segítségével megtartjuk ezt a fordulatot. Ezzel a fordulatszámmal a jármű 38 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ sebességet ér el, innen indítjuk a mérést. A motor leállításával a hajtáslánc szabadon tud pörögni, a lassulása a tehetetlenségből, és a súrlódási veszteségekből adódik. Mivel a mérési körülmények jól reprodukálhatóak, így a rendszer alkalmas összehasonlító mérések elvégzésére.

Adatgyűjtő segítségével összegyűjtjük a tesztberendezésen elhelyezett fordulatszám jeladók jeleit, majd ezt követően egy kiértékelő táblázat segítségével dokumentáljuk a mért eredményeket, melyek később könnyedén összehasonlíthatók, visszakereshetők.

5. ÁLTALUNK HASZNÁLT KERÉKCSAPÁGYAK MÉRÉSE

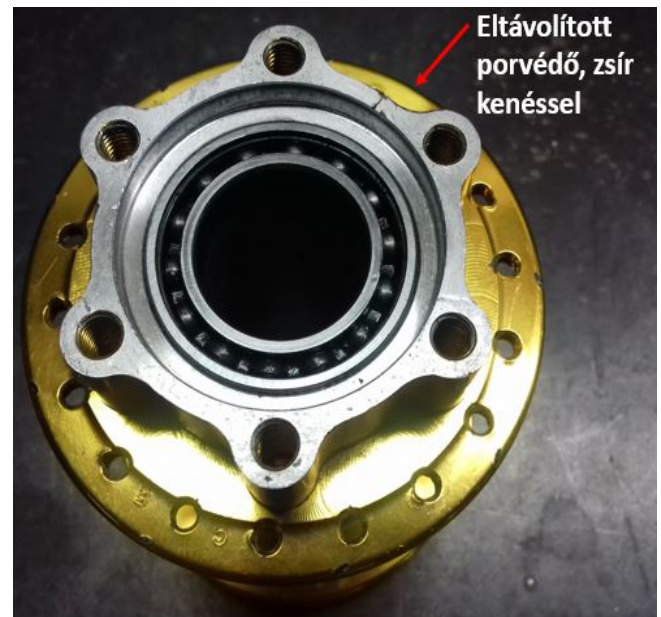
A járművünk kerekeiben többféle típusú csapágyakat használtunk és azokat különféle módon szereltünk be. A mért csapágyak között szerepelt hagyományosak és energiatakarékos, úgynevezett új generációs energia hatékonyak (4. ábra). A mérések során külön vizsgáltuk a porvédők gördülési ellenállásra gyakorolt hatását. A méréseket megismételtük úgy is, hogy eltávolítottuk a porvédőket, valamint különböző fajtájú kenőanyagokkal, vagy teljesen szárazon járattuk a csapágyakat. A porvédők eltávolításával tudomásul kell vennünk, hogy a jármű csapágyaiba szennyeződés juthat a versenypályán haladva, ezért ezzel a tényezővel is számolva, szennyező anyag bejuttatásával is elvégeztük a méréseket.



4. ábra Kerékagy a csapággal (saját szerkesztésű ábra)

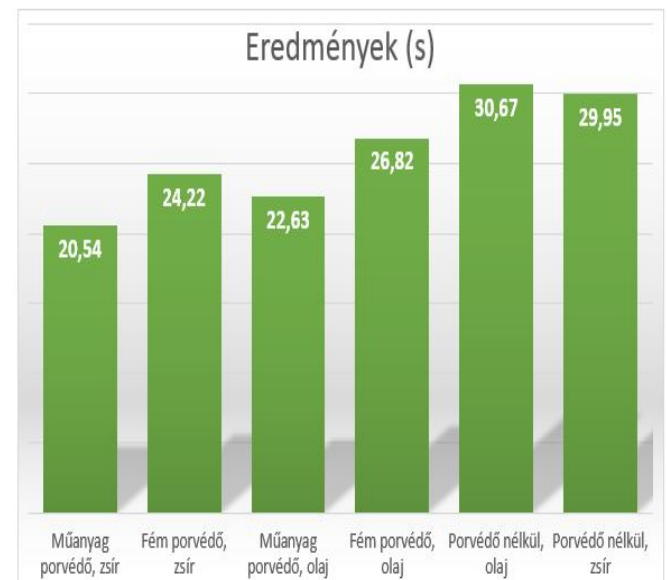
A mérések eredményeinek kiértékelését követően láthatóvá vált, hogy esetünkben, amikor a jármű csak igen kis távot tesz meg, a teljesen kimosott és csak csekély mennyiségű univerzális Loctite 5 WAY olajjal kent csapágyak szerepeltek a leghatékonyabban. Tekintettel arra, hogy a jármű csak kis távolságot tesz meg a verseny során, a csapágyakba bejutó szennyeződések nem számottevőek, így a gördülési ellenállást elhanyagolhatóan befolyásolja. Továbbá az is láthatóvá

vált, hogy az energiatakarékos csapágyak csak nagy futásteljesítmény esetén éreztetik hatásukat, és akkor is csak 3-4%-kal, ahogy ezt a gyártó szakembere is alátámasztotta. Ennek ellenére elvégeztük, hogy lássuk, a mi esetünkben lehet-e bármi hatása az eredményünkre (5. ábra).



5. ábra Eltávolított porvédő (saját szerkesztésű ábra)

A legnagyobb gördülési ellenállást jelentő hatás a csapágyakban található zsír és porvédő jelenti. A zsír helyett univerzális kenő sprayt használunk (6. ábra). A porvédők esetén a fémből készülteknek jobb eredményei születtek a műanyaggal szemben.



6. ábra Összesített eredmény (saját szerkesztésű ábra)

6. KONKLÚZIÓ

Igyekeztünk láthatóvá és érezhetővé tenni, hogy számos hatás okozhat tüzelőanyag-fogyasztás növekedést. A csapágyak mérése csak egy a sok lehetséges vizsgálati terület közül, ezért a jövőben tovább folytatjuk kutatásunkat, hogy miként tudjuk még hatékonyabban csökkenteni a veszteségeket. Az tüzelőanyag-fogyasztás csökkentése nem csupán anyagi, hanem környezetvédelmi okokból is jelentős. Azoknál a járműveknél, melyek csak kis távolságú utakat tesznek meg kevésbé érezhető, de olyan járművek esetén, amelyeknek évente több mint 5000 kilométeres a futásteljesítményük, ott már erőteljesen érezhető a fentebb felsorolt megoldások jótékony hatása. A projekt során végzett munka nem csak azt a célt szolgálja, hogy a fejlesztés során a jármű a versenyen minél jobb eredményt érjen el hanem, hogy a fejlesztésben dolgozó hallgatók már most olyan látásmódra, tudásra és tapasztalatra tegyenek szert, amelyet a későbbi munkájukban hatékonyan tudnak hasznosítani, ezáltal segítve a környezet-tudatos tervezési elvek bennünk való kialakulását.

Jövőbeni céljaink között szerepel egy szalagos futópályával rendelkező tesztberendezés építése, mellyel még pontosabban, a valóságot jobban közelítve tudjuk végrehajtani az ilyen jellegű méréseket. Az ilyen felépítésű padnál a gumiabroncs belapulása sokkal jobban közelíti a valóságot, a felfekvő felület, és a futófelület torzulása megegyezik a talajon gördülő járművel. Ennek segítségével a gumiabroncs választást, keréknyomás meghatározást, és az abroncs fejlesztést is támogatni tudjuk.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával megvalósuló EFOP-3.6.2-16-2017-00016: „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában” projekt támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Kerekes F. A., Nyári P., és Szabó J. Z. (2017): *Gördülési ellenállás összehasonlítására szolgáló tesztberendezés fejlesztése* Repüléstudományi Közlemények, XXIX. évfolyam 2017. 2. szám pp. 73-84.,
- Nyári P., Kerekes F. A., és Szabó J. Z. (2016): *Additív gyártástechnológiák alkalmazása a környezettudatos prototípus gyártásban*, pp. 3-8. IFFK 2016., Budapest
- Santin J. J., Onder H., Bernard J., Isler D., Kobler P., Kolb F., Weidmann N., and Guzzela L. (2007): *The World's Most Fuel Efficient Vehicle: Design and Development of Pac Car II*. vdf Hochschulverlag AG, an der ETH Zurich,
- Szabó J. Z. (2017): *Szerviztechnika és üzemfenntartás. tansegédlet.* (online) url: http://siva.bgk.uni-obuda.hu/jegyztek/Szerviztechnika/ELOADASOK_2013_PDF/SZTU_9EA_2013_Gumi.pdf (2017.02.01.)

