

Nyári Péter, Kerekes Attila, Szabó József Zoltán

## KÖNNYŰSZERKEZETŰ JÁRMŰ HÁTSÓ FUTÓMŰ OPTIMALIZÁLÁSA

*Kutatómunkánk célkitűzése egy nemzetközi, egyetemek közötti üzemanyag takarékosági versenyen résztvevő könnyűszerkezetű prototípus jármű hátsó futóművének tervezési peremfeltételeinek, tervezés menetének, kivitelezése, majd az elkészült alkatrész tesztelésének megvalósítása. A jármű karbon-kompozit héjszerkezettel rendelkezik, futóműve moduláris felépítésű, csőszerkezetű a szerelhetőség, későbbi fejlesztési potenciál kihasználásának érdekében. A tervezés során figyelembe vettük az előző évek során szerzett tapasztalatainkat, verseny követelményeket, a megvalósíthatóságot, és fenntarthatóságot. Az elkészült alkatrészt valós terhelések között tesztelve mérjük a szerkezet torzulását, melyet összevetünk a szimulációk eredményével.*

**Kulcsszavak:** Shell Eco-marathon, OEKO, prototípus, könnyűszerkezetű, karbon-kompozit, futómű, tervezés, fenntarthatóság,

### 1. BEVEZETŐ

Az OEKO az Óbudai Egyetem járműépítő csapata, mely minden évben részt vesz Európa legnagyobb, egyetemek közötti üzemanyag takarékosági versenyén, a Shell Eco-marathonon saját építésű benzines prototípus járművével.

A verseny célja, hogy 1 liter 95-ös oktánszámú benzin energiatartalmával minél nagyobb távolságot tegyenek meg a járművek. Csapatunk eddigi legjobb eredménye 565,5 km, aminek megtételéhez mindössze 1 liter benzinre volt szükségünk. Ahhoz, hogy ilyen kedvező fogyasztást érjünk el, a lehető legkisebb tömegre törekszünk modern anyagok, és technológiák felhasználásával, többek között önhordó karbon-kompozit karosszéria, és belső elemek, additív gyártással [1] készült, egyedi polimer elemek [2] és nagy szilárdságú fémek felhasználásával. Jelenlegi járművünk karosszériája alig haladja meg a 10 kg-ot, míg a komplett, menetkész jármű tömege 45 kg alatt marad.

Bár a verseny eredeti koncepciója szerint belsőégésű motorokkal hajtott járművek versenyéről lenne szó, a verseny szervezői követik a technológiai fejlődését a járműiparnak, így különböző alternatív, vagy megújuló energiaforrásokkal hajtott járművek is részt vehetnek a versenyben. Csapatunk OTTO ciklus szerint üzemelő belsőégésű motorral hajtja a járművet, mivel napjainkig még mindig ez a leginkább elterjedt erőforrás a járműiparban. Motorunk egy átalakított 35 cm<sup>3</sup>-es Honda univerzális motor, melyet saját felhasználási igényeinkhez alakítottunk, többek között megváltoztattuk az üzemanyag ellátását, szívó, és kipufogó csatornáját, szelepvezérlését, és megfelelő bevonatokkal láttuk el a nagy terhelésnek kitett felületeket. Ezeknek a változtatásoknak, és a fejlett motorvezérlő elektronikának köszönhetően a motor gyári teljesítmény értékei lényegesen alacsonyabb, ~3500 1/min fordulatszámra rendezésünkre áll. Ezzel csökkentettük a munkaütemek számát, amivel arányosan csökkent a motor üzemanyag fogyasztása is.

A cikk célja a prototípus járművünk hátsó futómű konstrukciójának bemutatása, és a jövőbeni célkitűzéseink leírása.

A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet az előző évek tapasztalatait és a fejlesztési

irány kitűzését mutatja be. A 3. fejezet az anyagválasztás, valamint a jármű konstrukcióját mutatja be. A 4. fejezet a kivitelezés során felhasznált gyártástechnológiákat mutatja be. Az 5. fejezetben a cikk összefoglalására kerül sor.

## 2. AZ ELŐZŐ ÉVEK TAPASZTALATAI, FEJLESZTÉSI IRÁNY KITŰZÉSE

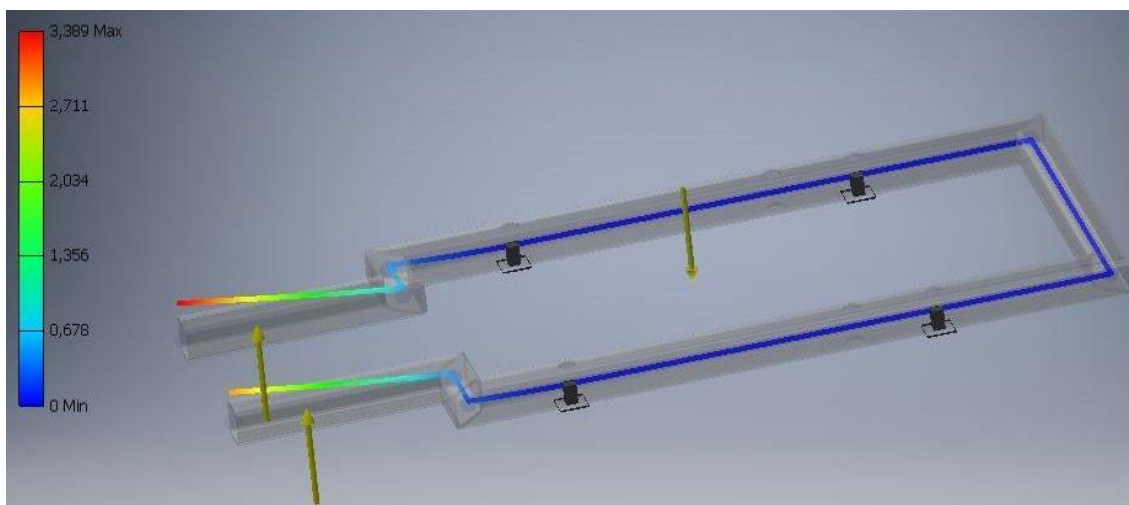
Új fejlesztésű járművünk tervezése során nagy hangsúlyt fektettünk az előző versenyek során szerzett tapasztalatok hasznosítására. A verseny során a futamok között viszonylag rövid időkeletünk van a jármű átnézésre, esetleges hibák javítására, emiatt a szerelhetőség, és hozzáférhetőség az egyik legfontosabb szempont, amit szem előtt tartottunk. Jelenlegi hátsó futóművünk (lásd 1. ábra) felépítését úgy alakítottuk ki, hogy a hátsó kerék, annak fékező mechanizmusa, a hajtás, és az erőforrás is egy közös vázon helyezkedik el. Így egy esetleges szerelési művelet során könnyen hozzáférhetővé tehetjük a komplett váz járműből történő kiemelésével. Ennél a konstrukciónál a váz 20x20 mm keresztmetszetű 1,5 mm falvastagságú zártszelvényből készült, amit 6 darab csavar rögzített a karbon-kompozit vázban kialakított pontokban. Ezen csavarok, és az elektromos csatlakozások szétválasztása után a komplett futómű-hajtás egység kiemelhető, majd a járművön kívül beállítható, tesztelhető. Utóbbi tulajdonságnak nagy szerepe van a motorbeállítás során, hiszen így a komplett jármű nélkül is végezhetünk tesztekkel, vagy módosíthatjuk az erőforrásunk beállításait, eközben pedig a járművön elvégezhetőek az egyéb karbantartások.



1. ábra Jelenlegi hátsó futómű, hajtás kiserelt állapotban (saját felvétel)

A korábbi években igyekeztünk a jármű hajtását, és felfüggesztését fejleszteni, leginkább a tömegcsökkentés irányában. Ennek érdekében az eredeti koncepciót kissé átalakítva, az acél vázat alumínium szelvényekből hegesztett keretre cseréltük és a karosszériában kialakítottunk még két rögzítési pontot. A motortartó alumínium lemez helyett egy egyedi méhsejt maganyag mindkét oldalára 3–3 rétegben laminált karbonszövettel erősített lapot alkalmaztunk, melyet a

kritikus helyeken pottinggal<sup>1</sup> erősítettünk meg. A szimulációk bizakodásra adtak okot, hiszen azok alapján arra számítottunk, hogy közel 3 kg-ot nyerhetünk az új felépítésű váz alkalmazásával, közel azonos deformáció mellett.



2. ábra Alumínium villa deformációja Autodesk Inventor szimulációs környezetben (saját szerkesztésű ábra)

A tesztek során viszont kiderült, hogy sajnos az elkészített alumínium-kompozit váz merevsége lényegesen elmarad az Autodesk Inventor modellezési környezetében végzett szimulációban (lásd 2. ábra) látottakhoz képest. Nagymértékű, oldalirányú terhelés esetén (például: nagysebességű kanyarokban) a váz torzulása a vártnál lényegesen nagyobb volt, a kiegészítő rögzítések ellenére is, így a hajtó-, és hajtott tengely szögeltérése megnőtt. Ennek hatására a hátsó lánckerekeinken a lánc félrefutott, ezáltal károsítva a lánckereket, és leblokkolva a járművet. Szétszerelés közben észleltük, hogy a motortartó lap is deformálódott, a rá került olajszármazékoknak és az erőforrásból sugárzó hőnek köszönhetően.

Ezen tapasztalatokkal gazdagodva az új fejlesztésű járművünk futóművénél kerültük a könnyűfémek használatát, mivel merevségük nem kielégítő számunkra az általunk gazdaságosan alkalmazható technológiák felhasználásával. A további fejlesztések során a kompozit elemeket is csak olajszármazékoktól és sugárzó hőtől mentes helyen alkalmazunk.

### 3. ANYAGVÁLASZTÁS, A JÁRMŰ KONSTRUKCIÓJÁNAK BEMUTATÁSA

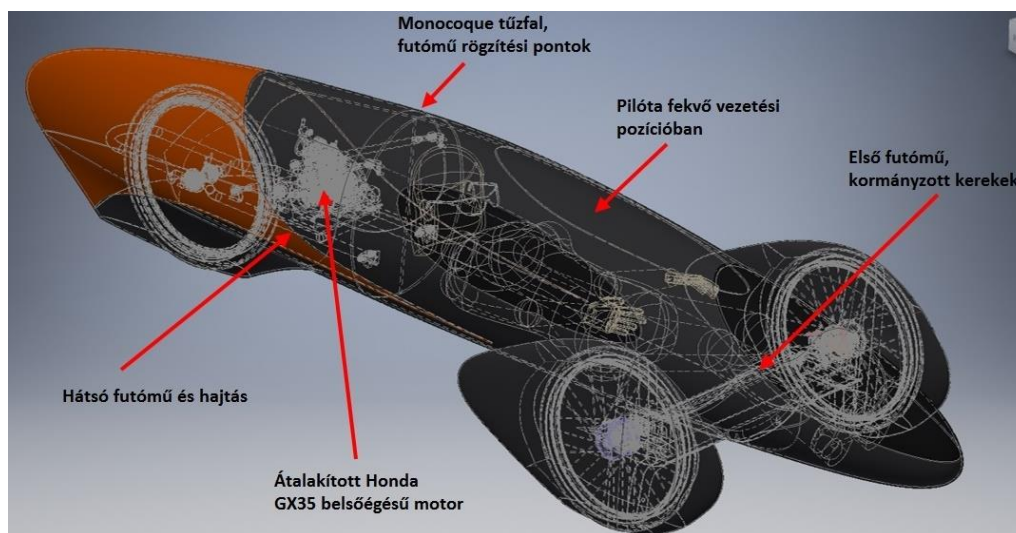
A fent leírt tapasztalatok felhasználásával a tervezés során nagy szilárdságú, de könnyen megmunkálható, ugyanakkor költséghatékony anyagot kerestünk a váz alapjának. Végül vékonyfalú, kis átmérőjű króm-molibdén ötvözetű acélcsőre esett a választásunk, ami az acélnál könnyebb, azonban igen tartós és ellenálló, rugalmas ötvözet. Könnyen hegeszthető, ezáltal a króm-molibdén ötvözetű vázak jóval tartósabbak és ellenállóbbak, mint a hagyományos acél vázak [3]. Anyagtulajdonságai, és beszerezhetősége miatt a 25CrMo4 ötvözetre esett a választásunk, melynek összetételét az 1. táblázatban tüntettük fel.

<sup>1</sup> Potting: Kitöltő mátrixanyag, kis tömegű, és sűrűségű, de nagy szilárdságú, két komponensű kitöltőgyanta

Ötvöző	Ötvöző tartalom
C	0,25%
Si	0,25%
Mn	0,7%
Cr	1,05%
Mo	0,25%

1. táblázat 25CrMo4 ötvözet adatai **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**

Mivel az új jármű karosszériájánál is a lehető legalacsonyabb tömegre törekedtünk, így csak az úgynevezett monocoque<sup>2</sup> készül teherviselő elemként, a karosszéria egyéb burkoló elemei nem képesek nagy terhelések felvételére. Ezzel jelentős súlyt takarítunk meg, viszont a felfüggesztés rögzítését csak a monocoque tűzfalán tudjuk megoldani. (lásd 4. ábra) Erre kitámasztó rudakat helyeztünk a koncepcióba, melynek anyagát szénszálás műanyag rúdnak választottunk, melynek kihajlási tulajdonságai kedvezőek a konstrukció szempontjából. Ezzel minimális tömeg hozzáadásával tudjuk megtámasztani a hátsó villát.



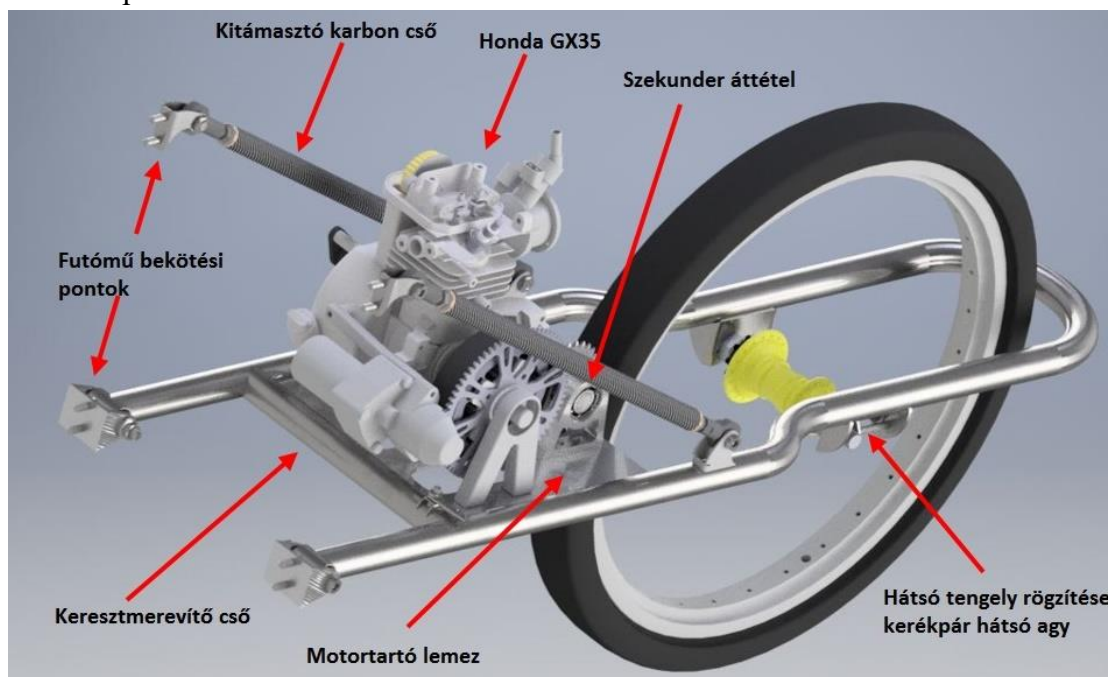
3. ábra Jármű részegységei (saját ábra)

A motorfejlesztés és tesztelés során arra a következtetésre jutottunk, hogy az erőforrásnak használt kis lökettérfogatú, rövid löketű motorunk üzemi fordulatszámát tovább csökkenteni nem tudjuk teljesítménycsökkenés nélkül. A megújult versenypálya domborzata miatt pedig egy erőteljesebb, nagyobb forgatónyomatékkal rendelkező hajtásra van szükségünk, ami csak fordulatszám emeléssel valósítható meg. Ezzel az elméleti végsebességünk is növekedne, amit a verseny során nem tudunk kihasználni, így a motor nem tud a számára optimális fordulatszám tartományban üzemelni, ezzel a hatásfokunk csökkenne. Az áttétel módosítás elkerülhetlenné vált, viszont a megvalósítani kívánt áttételt egy lépcsőben megvalósítani nem lehet, a lánckerék mérete miatt, így egy szekunder áttételre van szükségünk, amivel az üzemi fordulatszámot a megfelelő tartományok közé tudjuk szorítani.

<sup>2</sup> Monocoque: Francia eredetű szó, jelentése: egy héj. Ez a fajta vázszerkezet rendkívül jól viseli a rá ható terheléseket, nagy merevség, kis tömeg jellemzi.

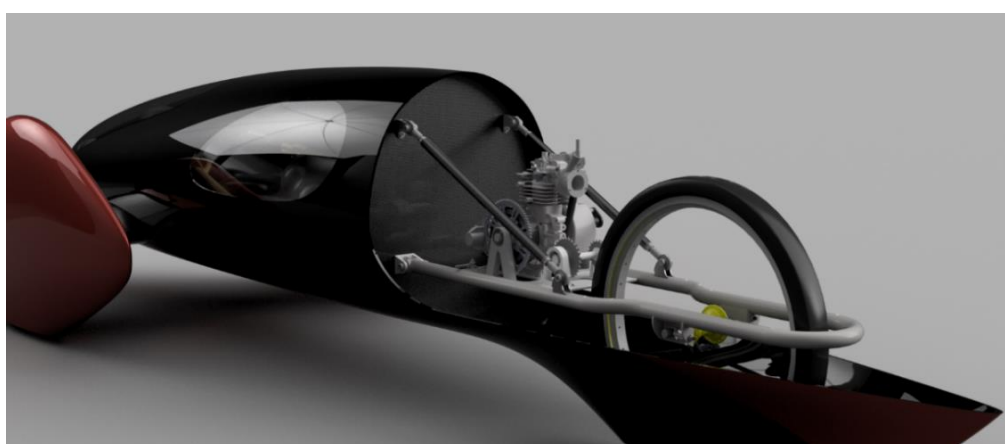
### 3.1 A hátsó felfüggesztés konstrukciójának kialakítása

A koncepció kialakítása után, a karosszéria kialakítását is figyelembe véve, megkezdődött a hátsó futómű 3D modellének kialakítása. A csővázat 25 mm átmérőjű, 1 mm falvastagságú csőből alakítottuk ki, U alakhoz közelítve, olyan módon, hogy a motor, és szekunder hajtás egy lemezen került elhelyezésre az egyszerű rögzítés, és állíthatóság érdekében (lásd 5. ábra). Az oldalirányú, csavaró igénybevételből származó torzulás mérséklésére egy keresztirányú összekötő csövet építettünk be a motortartó lemez elé.



4. ábra Hátsó futómű, és hajtás összeállított modellje (saját szerkesztésű ábra)

Az erőforrás rezonanciáinak izolálása érdekében az alsó bekötési pontban gumi rezgéscsillapító bakokon keresztül kapcsolódik a váz a tűzfalhoz, ezzel a pilóta komfortérzetének növekedését, illetve az elektronikus berendezések vibráció terhelés csökkenését értük el.



5. ábra Hátsó futómű elhelyezkedése a járműben (saját szerkesztésű ábra)

A kitámasztó rúd 17×3 mm keresztmetszetű, egyedileg tekercselt karboncsőből készül, végein textílbakelit illesztéssel, amibe a rögzítésre szolgáló gömbcsuklót illeszteni tudjuk.

Az elkészült modell négy csavarkötés oldásával könnyedén kiemelhető a járműből, így gyorsan, és jól hozzáférhetően szerelhető, ugyanakkor biztonságosan és reprodukálhatóan rögzíthető a jármű tűzfalán. Összességében az egység tömege minimálisan növekedett az előző megoldáshoz képest, viszont az áttervezett rögzítésnek köszönhetően a karosszéria tömege tovább csökkenthető. A moduláris felépítésből adódóan ugyanazon karosszériába többféle futómű változat beépíthető, ezzel a későbbi fejlesztések során nem kell egyéb rögzítési pontokhoz alkalmazkodni.

#### 4. KIVITELEZÉS SORÁN FELHASZNÁLT GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK

Tervezés során szem előtt tartottuk, hogy az elkészített modell elterjedt, megfizethető technológiákkal legyártható legyen. A csőváz kialakításához CNC vezérelt csőhajlítást választottunk, mivel így garantálható hogy az elkészült váz pontos, és szimmetrikus lesz, valamint könnyedén reprodukálható amennyiben szükséges. A rögzítő, és összekötő elemeket lemezalkatrésznek terveztük, amit vízugaras vágással, majd élhajlítással könnyedén, kis költséggel előállíthatunk. Az elkészült alkatrészeket AWI hegesztéssel, saját anyagával hegeszthetjük, így lényegi anyagtulajdonság változás nélkül, esztétikus, és pontos alkatrészt tudunk előállítani [5].

A projekt során szem előtt tartjuk, hogy az elkészített modellek fejlesztése fenntartható, és folyamatos legyen. Ennek érdekében az elkészült villát az új járműben, valós körülmények között tesztelve, annak alakváltozását rögzítve következtethetünk a szimulációnk pontatlanságaira. Ezen adatokat felhasználva optimalizálhatjuk a vázszerkezetet, ahol szükséges ott merevítéssel erősíthetjük, ahol viszont a váz terhelése kicsi, lehetőségünk van optimalizálni a konstrukciót az egyszerűsítésre törekedve. Így tömeg- vagy méretcsökkenést érhetünk el, ami segíti a versenyen elért eredményünk javítását.

#### 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Jövőbeli céljaink között szerepel, hogy járművünk tömegét még tovább csökkentjük, erre leginkább a futóművek területén lesz lehetőségünk. A váz üzem közbeni torzulásainak mérésére nyúlásmérő bélyeges technológiát tervezünk alkalmazni, melynek segítségével nyomon követhetjük a szerkezet alakváltozását, és az azt érő terheléseket. Mivel nem egyszerű húzó, vagy nyomó igénybevételről van szó, rozetta bélyegrácsot kell alkalmazni, amellyel bármilyen irányú alakváltozást nyomon tudunk követni [6]. Ezzel az elemzéssel a jövőben tervezett fejlesztések irányát meg tudjuk határozni, és segíteni a folyamatos fejlődést.

A már megismert valós terhelések alapján lehetőségünk van más keresztmetszetű szelvényeket alkalmazni, vagy akár más anyagjellemzőkkel bíró, kisebb fajsúlyú anyagot választani. További céljaink között szerepel a jármű rezonanciájának csökkentése, amit sajátfrekvencia méréssel tudunk vizsgálni, ki-, illetve felfutás méréssel. Ezek alapján ODS mozgás animációs méréseket tudunk készíteni.

Mivel a csapatunk egyetemünk hallgatóiból áll, ezért egy csapattag maximum 2–3 évig tud aktívan részt venni a fejlesztésben, utána át kell adnia a megszerzett tudást és tapasztalatokat a helyébe lépő új csapattagnak. Emiatt nagy hangsúlyt fektetünk a projekt és a feladatok dokumentációjára, ezzel fenntartható a folyamatos fejlesztés, fejlődés.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Nyári Péter, Kerekes Ferenc Attila, Szabó József Zoltán: Additív gyártástechnológiák alkalmazása a környezettudatos prototípus gyártásban, Budapest, IFFK 2016. augusztus 29-31, pp. 3-4.
- [2] Kerekes Ferenc Attila, Nyári Péter, Szabó József Zoltán: Ökológiai lábnyomunk csökkentése a járműgyártásban környezettudatos technológiák alkalmazásával, Budapest, IFFK 2016. augusztus 29-31, pp. 2-4.
- [3] Kisfaludy Antal, Réger Mihály, Tóth László: Szerkezeti anyagok I. ÓE BL 299, Budapest 2010
- [4] 25crmo4 adatlap, (online) url: [www.saarstahl.com/sag/downloads/download/11836](http://www.saarstahl.com/sag/downloads/download/11836) (2017.03.04)
- [5] Kisfaludy Antal, Réger Mihály, Tóth László: Szerkezeti anyagok II. BMF-BGK, Budapest, 1995.
- [6] Bevezetés a nyúlásmérő bélyeges mérés technikába, (online) url: [http://www.hbmiroda.hu/save/uplpdf/34-hbm\\_nyulasmero\\_belyeg\\_tanfolyam\\_pk\\_ea.pdf](http://www.hbmiroda.hu/save/uplpdf/34-hbm_nyulasmero_belyeg_tanfolyam_pk_ea.pdf) (2017.03.06)

**LEIGHTWEIGT VEHICLE REAR SUSPENSION OPTIMIZATION**

*Our research aims are an international competition designed for fuel-saving vehicles, lightweight race prototype vehicle rear suspension design, design process, execution, and then the manufactured component testing, measurement and evaluation. The vehicle's carbon-composite monocoque-sub has a chassis of modular construction, pipe structure in order to assemble, use of future development potential. We took into account the experience gained from the previous year, followed up by a recements, feasibility and sustainability. After execution of the completed parts we want to measure the distortion between actual charges and compare the results of the simulations.*

**Keywords:** Shell Eco-marathon, OEKO, lightweight prototype, carbon-composite chassis, design, sustainability

Nyári Péter  
BSC hallgató, OEKO csapatvezető  
Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonság-  
technikai Mérnöki kar  
Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
nyari.peter@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-8437-7117

Nyári Péter  
BSC student, OEKO team leader  
Óbuda University, Donát Bánki Faculty of Mechan-  
ical and Safety Engineering  
Mechatronics and Vehicle Technical Institute  
nyari.peter@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-8437-7117

Kerekes Ferenc Attila  
intézeti mérnök  
Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonság-  
technikai Mérnöki kar  
Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
kerekes.attila@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-5103-1742

Kerekes Ferenc Attila  
institute engineer  
Óbuda University, Donát Bánki Faculty of Mechan-  
ical and Safety Engineering  
Mechatronics and Vehicle Technical Institute  
kerekes.attila@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-5103-1742

Dr. Szabó József Zoltán (PhD)  
intézetigazgató helyettes, egyetemi docens  
Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonság-  
technikai Mérnöki kar  
Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
szabo.jozsef@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-9129-9049

Dr. Szabó József Zoltán (PhD)  
Deputy Director of Institute, associate professor  
Óbuda University, Donát Bánki Faculty of Mechan-  
ical and Safety Engineering  
Mechatronics and Vehicle Technical Institute  
szabo.jozsef@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-9129-9049



[http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_2/2017-2-08-0385-Nyari\\_P-Kerekes\\_A-Szabo\\_J\\_Z.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_2/2017-2-08-0385-Nyari_P-Kerekes_A-Szabo_J_Z.pdf)

