

# Hátsó kerékagyfejlesztés Formula Student versenyautóhoz

## Rear wheelhub design of a Formula Student Racecar

KISS Márton Péter<sup>1</sup> BSc hallgató, DR. MOLNÁR Ildikó<sup>2</sup> okl. gépészmérnök, egyetemi docens

<sup>1</sup>Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
H-1081 Budapest, Népszínház u. 8., Telefon: +36 1 666 5319,

Email: [kissmartonpeter@stud.uni-obuda.hu](mailto:kissmartonpeter@stud.uni-obuda.hu),

<sup>2</sup>Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
H-1081 Budapest, Népszínház u. 8., Telefon: +36 1 666 5319,

Email: [molnar.ildiko@bgk.uni-obuda.hu](mailto:molnar.ildiko@bgk.uni-obuda.hu)

### Kivonat

A Formula Student versenyautó felfüggesztési rendszerének fő elemei a csonkállvány és a kerékagy. A cikkben ismertetésre kerül a hátsó kerékagy megtervezése. A hátsó kerékagy feladata a nyomaték továbbítása a kereknek. A kerékagy tervezése során a Formula Student Rules 2024 kritikus rögzítőelemekre vonatkozó szabályait vettük figyelembe. A szabályok betartása mellett célul tűztük ki a kerékagy tömegének csökkentését és az egyszerűbb gyárthatóságot. A tervezéshez a SolidWorks 2023 CAD tervező programot használtuk.

**Kulcsszavak:** kerékagy, tervezés (SolidWorks), csapágyazás, szimuláció

## 1. KERÉKAGY SZEREPE

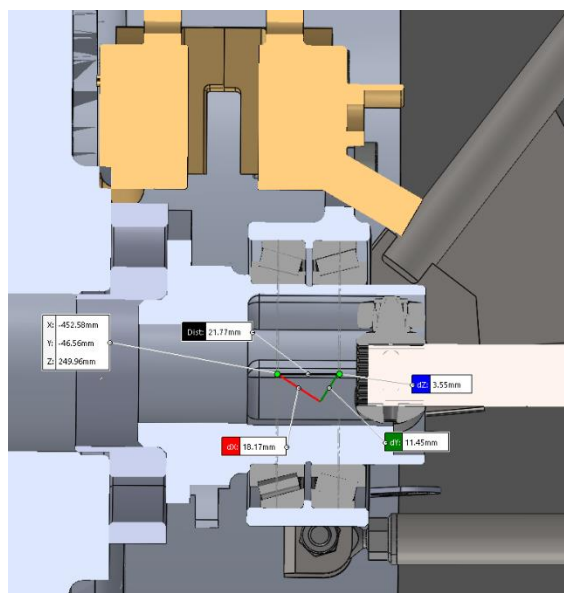
A Formula Student versenyautók együletes járművek, amelyeket hallgatók építenek, terveznek és üzemeltetnek. A versenysorozathoz kapcsolódó szabályzat Európában a Formula Student Germany szabálykönyv. Sok tervezési irányelv került meghatározásra a szabálykönyvben, de ettől függetlenül lehetőséget ad és szabadságot biztosít az egyes alrendszerek megoldásaihoz.

Az Óbuda University Racing Team megalakulása óta belsőégésű motorral szerelt járműveket épít, amely hajtásrendszerének fő komponensei a 4 ütemű Otto motor, lánchajtás, sperr-differenciálmű, féltengelyek, kerékagyak, hátsó kerek.

A kerékagyak feladata a kerek forgómozgásának biztosítása. A méretezésénél fontos szempont a megfelelő csapágyazás és csapágytávolság megválasztása, és a futóműben ébredő axiális irányú erőhatások mértékének figyelembevétele. Esetünkben a tervezendő alkatrész egy hátsó kerékagy, amely a hajtásrendszer egyik nyomaték közvetítő eleme is egyben. A versenyszabályzat szigorú előírásokkal korlátozza a hajtásrendszerben és a futóműben használható kötőelemeket és rögzítő elemeket. Az alkatrész tervezésénél fontos a minél alacsonyabb tömeg elérése és a gördülési ellenállás minimalizálása. Továbbá cél az egyszerű szerelhetőség megvalósítása, mivel az agyon helyezkedik el a féktárcsa rögzítés és a felni töcsavarjai.

## 2. ELŐZŐ GENERÁCIÓS KERÉKAGY

A 2023-as szezonban használt kerékagyak konstrukciója alapozta meg a következő kerékagy fejlesztését az idei idényre. A korábbi kerékagy látható az 1. ábrán, ennél a kialakításnál a töcsavarok csatlakozása 4x100-as kiosztásban van, M14x1,5 préselt töcsavarokkal szerelve. A féktárcsák rögzítése az agyon elhelyezkedő fülekben szintén 4x100 kiosztásban elhelyezkedő M8 menetű furatokkal történt. A kúpörgős csapágyak 63,5 mm átmérőn és O elrendezésben kerültek beszerelésre 21,77 mm csapágytávolságra. A féktárcsa illeszkedik az agy 70 mm átmérőjén. A titánból készült csapágyanyák Withworth 16G 3/8 menettel rögzítik a csapágyakat, a menetkifutás 13 mm-en történik 1 mm hosszban a csapágy gyűrű szélességén túlfut, hogy a kúpörgős csapágyat megfelelően elő lehessen feszíteni az üzemeltetéshez a csapágyanya rögzítésénél. A féltengelycsillag profil, amely megmunkálásra került az agy belsejében biztosítja a megfelelő kimozdulási szöveget a féltengelynek.



1 ábra

Az első generációs kerékagy félmetszete

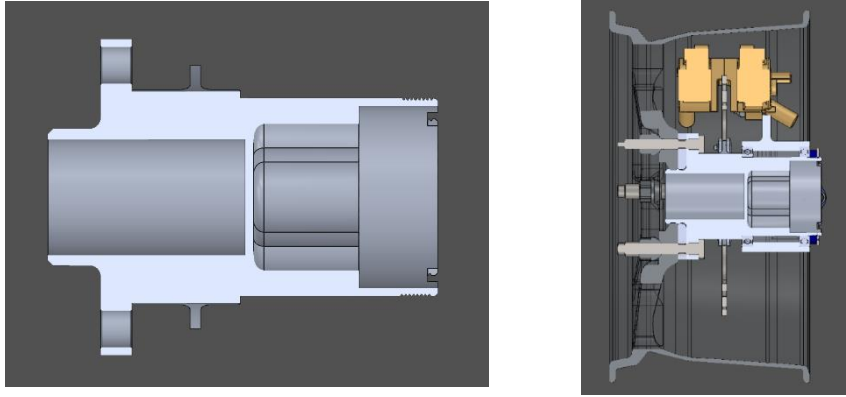
### 3. MÁSODIK GENERÁCIÓS KERÉKAGY

Az alkatrész tervezésénél az egyszerű megmunkálás és szerelhetőség mellett fontos, hogy az alkatrész tömegét csökkentsük. A kerékagy egy forgótömeg, ami befolyásolja a jármű viselkedését mozgás közben, ezért egy másfajta kialakítás mellett döntöttünk. Az anyagválasztás során 7075 T6 alumíniumra esett a választás. Megfelelő anyagtulajdonsággal rendelkezik és másrésről kedvező a megmunkálhatóság szempontjából.

A Formula Student versenysorozatban kétfajta kerékagy konstrukciót használnak. Az egyik a motorsport világából ismert center kerékanyás megoldás, ahol egy nagyméretű kerékanya rögzíti a kereket az agyhoz, a másik a 4x100 kiosztású 4 töcsavaros kerékanyás megoldás, ahol 4 darab M14x1,5 menetemelkedésű töcsavarokkal történik a kerék rögzítése az agyhoz. A második rögzítési módszert került kiválasztásra, mivel a Magnesium OZ 13 colos felnizei 4x100 kiosztásúak, amellyel csapatunk rendelkezik. Az egyszerűbb megmunkálása a kerékagynak és a könnyebb szerelhetősége is alátámasztja döntést. Az első lépés a kerékagy tervezésénél a töcsavarok rögzítése. Külön hangsúlyt kell fektetni rá az axiális irányú igénybevételek mértéke miatt. Az anyagvastagság 12 mm, amely megegyezik a töcsavarok préselhető átmérőjének hosszával. A körgeometriából 120 mm rádiusszal van a könnyítés kivágva, az agyat érő feszültségek minimalizálása és a féktárcsa egyszerűbb hozzáférhetősége miatt. A kerékagy rögzítésére szolgál a tehermentesítő átmérő, amely az OZ Racing cég műszaki rajza és ajánlásai alapján került kialakításra

#### 3.1 Féktárcsa rögzítés

A tavalyi csavarral rögzített féktárcsa helyett idén motorkerékpárkról és motorsportból ismert úszó féktárcsára váltottunk. Ennek fő oka a féktárcsáink melege, majd deformációja volt, amely a féktárcsák befeszülését eredményezte a féknyergekbe. Az új megoldással a féktárcsa nem az agyra van rögzítve közvetlenül, hanem a mi esetünkben 4 rögzítésen 8 csavarozott perselyre, amelynek palástja illeszkedik a kerékagyon 120 mm átmérőn, a féktárcsával pedig 121 mm átmérőn. A hézag a tárcsa és az agy között helyet ad a fékezések során fellépő hőtágulásnak, és a szerelés során nem kell külön az agyat kiserelni a csonkállványból a féktárcsa cserélésekor. Tervezés során a féktárcsa anyaga rugóacél és a könnyítési mintázata körszimmetrikus. A hőtágulásnál keletkező deformációnál nem fog aszimmetrikusan deformálódni.

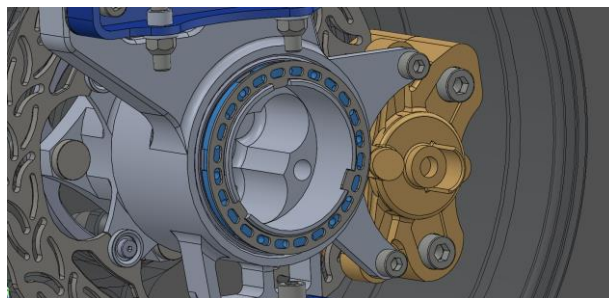


2. ábra

A második generációs kerékagy, hátsókerék összeállítás

### 3.2 Csapágyazás

A másik ideji fejlesztés a kúpörgős csapágyak leváltása nagyobb átmérőjű kisebb görbülési ellenállású golyóscsapágyakra. A kerékcsavarok rögzítése határt szab a csapágyátmérő választásában, így a 75 mm belső átmérőjű és 95 mm külső átmérőjű FBJ 61815 csapágyra esett a választásunk. A csapágytávolságot 21,77 mm-ről 54 mm-re növeltük. A kúpörgős csapágy tömege a 450 g darabonként, a golyóscsapágy tömege 147 g darabonként. Ennek köszönhetően a rugózatlan tömegünk is nagymértékben csökkent. A csapágyak axiális irányú rögzítésére szigorú szabályok vonatkoznak a Formula Student sorozatban. A Seeger gyűrűk használata tilos, így a csapágyanyák fejlesztésének irányába vannak terelve a versenyzők. Az ideji fejlesztésben egy egyedi megoldást fejlesztettem, amely egy egyedi csapágyanya és rögzítő lemez fejlesztését eredményezte. A csapágyanya M75x1,5 belső menettel rendelkezik, 6 darab síkfelületen lehet meghúzni egyedi szerszámmal és 18 M5 átmenő furat került elhelyezésre 82 mm osztókörön. A biztosító lemezen 24 horony kivágás került tervezésre ugyanezen az osztókörön, amely oly módon hivatott rögzíteni az anyát, hogy a 3 hornyon, ami az agyon került megmunkálásra, bármilyen módon is csavarodik fel a csapágyanya mindig lesz 3 furaton egy horony kivágás, ahol rögzíthető a biztosító lemez csavarral (3. ábra).



3. ábra

Csapágyanya és biztosító lemez

### 3.3 Féltengelycsillag profil

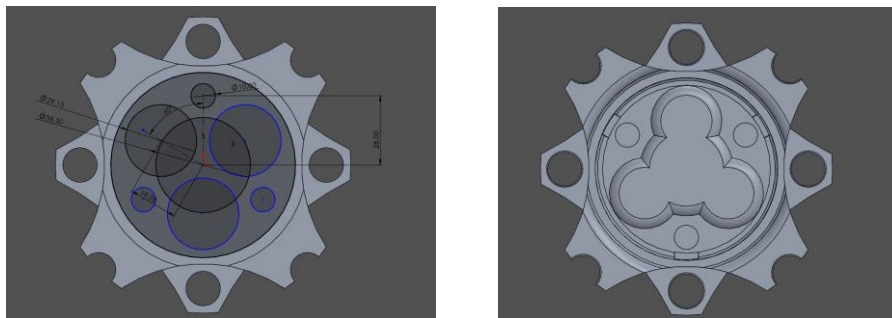
A hátsó kerékagy közvetíti a nyomatékot a kerekhez, amely a féltengelyeken rögzített féltengelycsillagon keresztül történik. Axiálisan és vertikálisan is el kell tudnia mozdulni a hasmagasság változás következtében. A járművünkben a féltengelyek Grade 5 titánötözetből készülnek. Az anyag tömege és a kimagaslóan magas szakítószilárdsága miatt alkalmazzuk hajtásrendszerünkben. Az ideji fejlesztés során az amerikai gyártású RCV és a német gyártású Drexler féltengelycsillagok helyett Fiat alkatrészeket használunk egységesen a differenciálmű és kerékagy oldalon egyaránt. A kiválasztott féltengelycsillag kovácsolt középrésszel és számomra ismeretlen dimenziókkal rendelkezett, ezért az első lépés a pontos kimérés volt a profil megtervezéséhez.

A pontos mérés érdekében egy illesztett tengelyre volt szükségem, amelynek megmunkált átmérőjét használtam a mérésnél bázispontként (4. ábra).



4. ábra  
Féltengelycsillag mérése talpas karctűvel

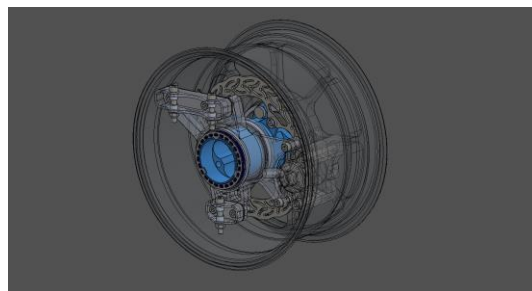
A mérésnél a kovácsolt belső rész átmérőjére és a görgők pozíciójára voltam kíváncsi. A belső részt 3 oldalról oldalanként 3 méréssel vizsgáltam és a tengelytől mérve 1 mm szórást mértem a középrész külsején. Mivel a középrész átmérőjének nagysága befolyásolja a féltengelycsillag kimozdulásának mértékét, ezért a legnagyobb értéken felül is 0,5 mm-el nagyobb átmérőt választottam. A görgők pozícióját 3 méréssel vizsgáltam mind a 3 görgő esetében és ott egyező adatokat kaptam, amely 12,8 mm az illesztett, 20,45 mm átmérőjű a tengelytől alsó állásban és 15,8 mm felső állásban. Így ezekkel az adatokkal került megtervezésre a belső profil, ahol a 3 29,15 mm átmérőjű körön fekszenek fel a görgők és közvetítik a nyomatókat a kerékhez.



5. ábra  
Féltengelycsillag profil

### 3.4 Kerékagy a csonkállványban

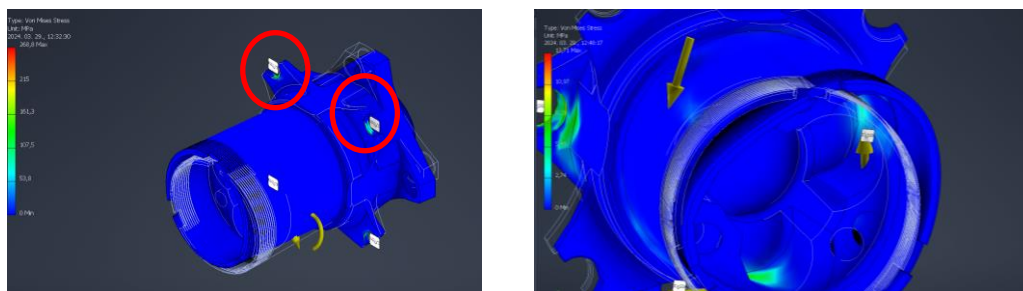
A kerékagy a csonkállvány alkatrészsel képezik a jármű kerekeinek főbb teherbíró részeit. Érdeemes ezeket egymással párhuzamosan fejleszteni, a lehető legjobb konstrukció elérése érdekében. Így a csapágytávolságok és féknyereg pozíciója meghatározó tényezők az alkatrész tervezése során.



6. ábra  
Kerékagy elhelyezkedése a csonkállványban

## 4. KERÉKAGY SZIMULÁCIÓJA

A kerékagyat érő 2 fő terhelés a fékezésből és a hajtásból adódó nyomaték, amelyek különböző mértékű igénybevételnek teszik ki kerékagyat. A két terhelés két különböző szimulációban vizsgáltam, ahol féktárcsa rögzítésnél és a féltengelycsillag profilnál ébredő maximális feszültségre voltam kíváncsi. A szimulációs vizsgálataimat Autodesk Inventor programban végeztem. A szimulációk során a féktárcsa rögzítéseknél, az úsztárcsa perselyek rögzítő palástjánál maximálisan 269 MPa feszültség keletkezik a legnagyobb lehetséges fékezés esetén. Esetünkben ez megfelelő, mivel a kerékagy anyaga 7076 T6 alumínium. A hajtásból adódó nyomaték közvetítésnél, a féltengely csillagprofilnál ébredő feszültségek viszont már jóval kisebbek. A terhelést a legnagyobb forgatónyomatéknál vizsgáltam, amely 15 MPa maximum feszültséget eredményezett (7. ábra). Az alacsony feszültség érték nem ad aggodalomra okot. Viszont a fellépő terhelés hirtelen rajtolásnál következik be, ezért az alkatrész élettartamát befolyásolja az alkatrész üzemeltetése, a féltengelycsillag megfelelő zsírzása és a profil megfelelő megmunkálása.



7. ábra

Kerékagy végeelem szimulációi

## 5. EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A tervezést követően az elvégzett szimulációk eredményei alátámasztják az alkatrész gyárthatóságát. Az általunk kitűzött fejlesztési irányzatoknak megfelel. A komplett kerékösszeállításban sikerült idén 28%-os tömegcsökkentést elérni, amely a versenyszezon során előnyhöz juttatja a csapatot.

A féknyergek egy gyári Suzuki GSX-R 600 K3 hátsó féknyergei, amelyek rendkívül nagy méretűek és robusztusak. Egyedi féknyereg tervezésével a fékmunkahengerek méretének megmaradásával könnyebb az alkatrész megvalósítása, és a többi futómű komponens elhelyezése és méretezése is előnyösebb lehet, mint rugózatlan és forgótömeg csökkentése esetében. Ezt a fejlesztési irányt javaslom a következő szezonra. A kerékagy mechanikai szimulációja a csonkállvánnyal együtt rávilágíthat további fejlesztési irányokra.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1.] On the design of a wheel assembly for a race car Greg Wheatley, Mohammad Zaeimi, Elsevier Results in Engineering, 2021
- [2.] Simulation and analysis of an FSAE wheel upright using finite element methods: T. Narendiranath Babu, Rahul S Nair, Rucha Bhadade, Rahul Garg, Ayush Rathod, Aniruddh Singh Chandel, D. Rama Prabha, Journal of Pharmaceutical Negative Results, 2022
- [3.] Design & Analysis of Wheel Assembly for FSAE F3 Vehicle R. G Janunkar1, Shubham Shingote, Krushna Bankar, Rohan Inamke, International Journal of Trend in Scientific Research and Development, 2022
- [4.] [https://www.wisconsinracing.org/wp-content/uploads/2020/10/218e\\_Corner\\_Assembly.pdf](https://www.wisconsinracing.org/wp-content/uploads/2020/10/218e_Corner_Assembly.pdf)
- [5.] <https://www.ekonyvtar.eu/kutatasi-anyagok/kerékagy-tervezes-formula-student-versenyautohoz/593920/>