

FORMULA STUDENT VERSENYAUTÓ CSŐVÁZÁNAK OPTIMALIZÁLÁSA

OPTIMISATION OF THE PIPE CHASSIS FOR A FORMULA

Kiss Márton Péter, Molnár Ildikó***

ABSTRACT

The aim of this research is to design the pipe frame structure of a Formula Student race car. The design considers the aspects defined in the regulations and is adapted to the chassis geometry. The pipe frame structure is designed in a CAD design program (SolidWorks) considering the dynamic properties of the chassis geometry. The engine to be installed in the race car is a single-cylinder internal combustion engine, the positioning of which in the pipe frame and the definition of the appropriate connection points must be ensured. Based on experience from previous design processes, the optimisation of driving stability and torsional stiffness will be provided as a result of the study.

1. BEVEZETÉS

Az Óbudai Egyetem O.U.R. TEAM csapatának sikeres részvétele a 2024-es Formula Student versenysorozatban a futómű geometria kiserkesztését követően az új autó vázszerkezetének a megtervezését igényli. Az első generációs jármű hibáiból és pontatlanságaiból tanulva a tervezés egy új koncepció kidolgozásával kezdődött. A korábbi esetben nehézséget okozott a pilótafülke ergonómiájának nem megfelelő kialakítása. Sok esetben szembesültünk helyhiánnyal. Problémát jelentett a gyártás szempontjából az elemek nem megfelelő illeszkedése, ami a nem megfelelő hajlításból adódott. A kevésbé megfelelő anyagminőség választása miatt pedig a csőváz átalakítása volt szükséges. Ezen hibák szem előtt tartásával kezdődött el az új, 2024-es év versenyautó vázának megtervezése. A karosszéria egy fő egységből és egy segédváz egységből épül fel. Néhány csapat esetében Formula1-ből ismert monocoque-hoz hasonló karbon kompozitból épül fel a vázszerkezet. Mi továbbra is a csőváz mellett maradtunk, mivel gyártás szempontjából a lehetőségek adottak és korábbi tapasztalatok hasznosíthatóak.

2. TERVEZÉS ÉS GYÁRTÁS

A csővázal szemben támasztott legfontosabb követelmény a pilóta védelmének biztosítása. A Formula Student szabályzat nagyon sok konstrukciós előírást határoz meg, amelyek alapján a váz fő elemei megtervezhetőek. Ilyen például a front zóna kialakítása, az orr részben lévő csövek elhelyezése, a pilóta fülkénél lévő elemek kialakítása. A váz fő elemeire vonatkozó anyagminőség szintén a szabályzat szerint meghatározott. Esetünkben a E220 CR2 S3 és E235 CR2 S2 szabványos csöveket használjuk. E kettő közötti különbség a falvastagságban és anyagminőségben adódik. Célul tűztük, hogy a korábbihoz képest egy könnyebb vázszerkezetet tervezzünk. Törekedtünk továbbá a könnyebb gyárthatóságra és nem utolsósorban a költségek minimalizálására.

A versenyszabályzat előír a csőre vonatkozóan egy minimum falvastagságot, amihez tartozik egy minimum keresztmetszeti tényező és egy minimum másodrendű nyomaték. Részben lehetőségünk van az anyag kiválasztásra, de az előírt követelményeknek mindenképpen meg kell felelni. Mindezek ismeretében az általunk választott szerkezeti acélcsövek S3 és S2 hőkezeléssel rendelkeznek, amelyek közül az S2 ideális a hajlított elemek pontos megmunkálásához.

2.1. Tervezés lépései

Az első generációs csőváz teljesen más tervezési filozófiával készült el. Fő szempont volt a jármű homloklapfelületének minimalizálása. Több cső került felhasználásra, hogy a kis keresztmetszetű szerkezet megfelelő torziós merevséggel rendelkezzen és a versenyszabályzatnak megfeleljen (1. ábra).

Az akkori tervezés során nem volt végleges az erőforrás, így a motor beszereléséhez át kellett alakítani és ki kellett merevíteni. A végleges szerkezet 55 kg tömegű lett, ami messze nem ideális és az alkatrészek elhelyezése, szerelése is problémákat okozott.

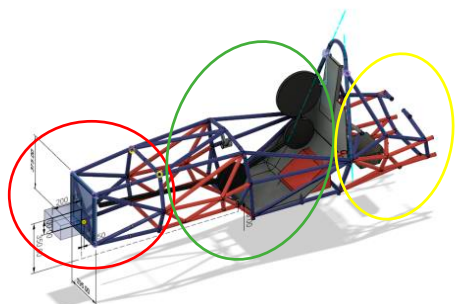
* hallgató, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

** egyetemi docens, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar - MEI



1. ábra Az első generációs Formula Student autó

A jármű vázszerkezetét három fő egységre lehet osztani, az első az autó orra (piros kör), második a pilótafülke (zöld kör), harmadik a motortér (sárga kör) (2. ábra). A 2. ábrán a pirossal jelölt csőszakaszok azok, amelyekre a korábban említett fő versenyszabályok vonatkoznak.



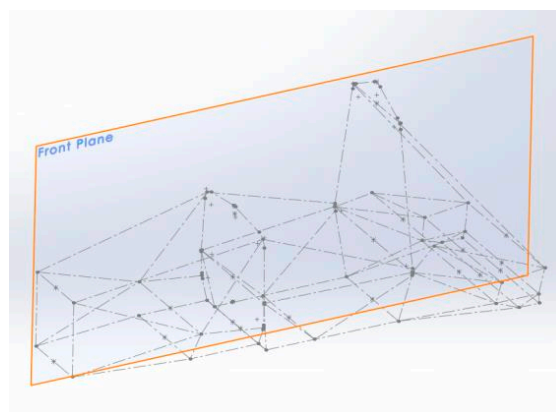
2. ábra Az első generációs térhálós csőszerkezet

A korábbi tapasztalatok azt mutatták, hogy a mostani futómű esetében a változás a felni méretéből és a kormánymű helyének változásából adódik. Korábban 10 colos felni terveztük a kormány és futómű geometriát, most viszont a könnyebb kormányzás érdekében, a 13 colos felni váltás miatt, egy másféle csapterpesztési szöget és kormánylegördülési sugárhosszt határoztunk meg. A csapterpesztés 8,9 fok, a kormánylegördülési sugárhosszt 41,29 mm- ről 19 mm- re változtattuk. Egy nyomórudas-himbás futómű tervezésére esett a választás, ahol a rugóstag a himba és az összekötő rúd egy síkban helyezkedik el a nem kívánt terhelések elkerülése miatt. Továbbá ez a koncepció lehetővé teszi számunkra, hogy Anti-Roll Bar-t helyezünk el az első és hátsó futóműnél egyaránt, amely a jármű karosszériájának dőlését hivatott csökkenteni. A lengőkarok szögeit növelve törekedtünk arra, hogy a váz bekötésnél a nagyobb távolságok miatt merevebb vázat tudjunk kialakítani. A legnagyobb terhelés a kerekeknél ébredő axiális irányú terhelés, amely 2G oldalgyorsulás esetén 16 kN. Ez a terhelés a futómű komponensein keresztül a váz csomópontjaiba irányul, ahol a csomópontoktól ágazó csövek csökkentik a

feszültséget. Maximális terhelés során a váz szerkezet maximum 0,1 mm-t mozdul ki. A hasmagasság és kerék mozgás útjának kiszámolásánál már konkrét rugóállandóval, himba áttétellel dolgoztunk.

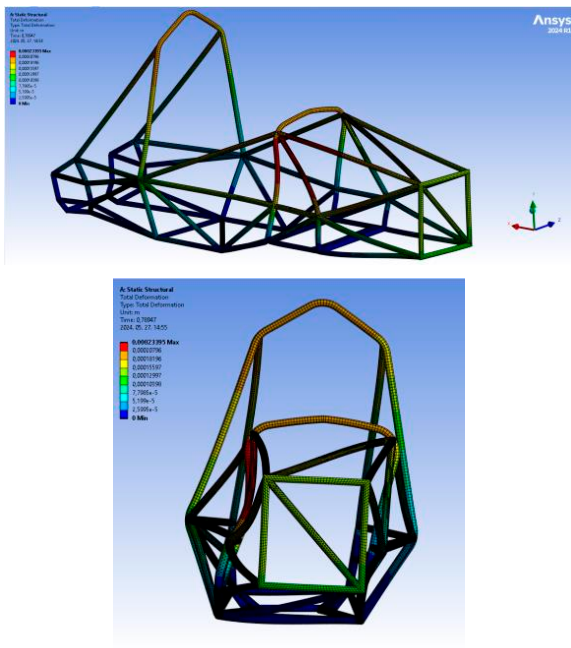
A tervezést SolidWorks CAD tervező programban végeztük. A 2D alaprajz elkészítésével, a fő csomópontok meghatározásával és a térbeli kihúzás ismeretében megkaptuk a csőváz geometriájának alapját (3. ábra).

Ma már egyre inkább a dinamikus geometriai modellezés kerül előtérbe, mivel a végső alak eléréséhez többszöri módosításokra van szükség. A CAD programok támogatják és könnyen igazodnak a változtatásokhoz. Ennek egyik lehetősége a parametrikus modellezés, amely lehetővé teszi a dimenziók módosítását. A tervezés során geometriai méretek mellett kényszereket is használunk.



3. ábra Térhálós csőváz (Skeleton modell)

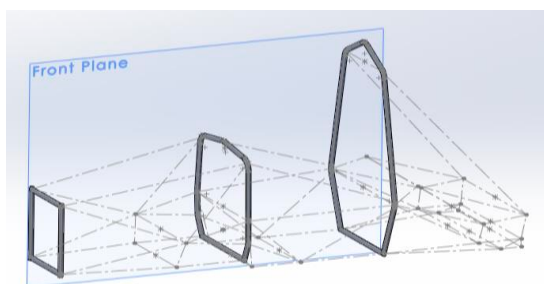
Az elkészült vázszerkezet modelljét ANSYS szimulációs program Mechanical moduljának használatával megvizsgáltuk. Kíváncsiak voltunk a váz torziós merevségére és a benne ébredő feszültségeloszlásra. A torziós merevség mérőszáma a vázszerkezet merevségének, amely hozzájárul a biztonsághoz, az úttartáshoz és a zajkomforthoz. A szimulációk lefuttatását megelőzően kényszereztük a geometriát. A 4. ábrán eredményként kanyarodásra vonatkozó feszültségeloszlás látható. A kapott eredményekből következtetésként megállapítható, hogy a vázszerkezet megfelelő és 4237 N/mm a torziós merevsége.



4. ábra Feszültségeloszlás a vázszerkezeten

2.2 Gyártás lépései

A geometriai határok figyelembevételével és betartásával a térbeli pontok helyzetét meghatároztuk, majd háromszögelési szabálynak megfelelően összekötöttük és az áthatások tervezésével folytattuk. A hajlított csőelemek a szabályok betartása miatt (a Front Hoop és a Main Hoop) 25x2,5 mm csőből készültek és 90 mm rádiuszú hajlító szerszámmal kerültek megmunkálásra (5. ábra). A szerszámválasztás a szabályok betartása érdekében, a csőváz merevségének növelése miatt és a hajlítás pontossága miatt került kiválasztásra. Az EU szabványnak megfelelő anyag típus esetében a szénttartalom mennyisége egy szűk tűréstartományon belül van, ezért a hajlító gép beállítása pontosabban megadható, kevesebb tesztalkatrész gyártására van szükség.

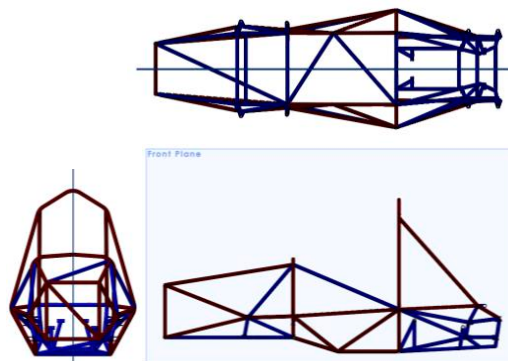


5. ábra A csőváz fő komponensei

A megtervezett csőváz szerkezet megépítéséhez 60 fm cső kerül felhasználásra a korábbi 75 fm-hez képest. A váz készítése során különböző falvastagságú csöveket használtunk fel (25x1,5; 25x2; 25x2,5). Az új váz tömegét hozzávetőlegesen 12 kg-mal sikerült csökkenteni. A vázszerkezet

méretváltozásának köszönhetően a torziós merevség viszont nő, mivel a csövek nagyobb keresztmetszetben helyezkednek el. Elmondható, hogy a futóműből ébredő axiális terhelések viszont kisebb kimozdulást eredményeznek az adott csőszakaszon.

Az új váz hossza 2430 mm, a korábbi vázszerkezeté 2300 mm, amely növekedés a nagyobb motortér és pilótfülke miatt volt szükséges. Az első generációs csővázhoz képest 22%-os tömegcsökkentést értünk el, amely előnyhöz juttatja csapatunkat a versenyszámok teljesítésében.



6. ábra A megtervezett csőváz

Az új járműbe a győri egyetem SZEngine motorja kerül beépítésre, ami egy turbó feltöltős motor, ezért a motorteret ehhez alakítottuk ki. A motortér kialakítása egészen más, mint a korábbi esetben. Ehhez szükséges volt a súlypont megfelelő meghatározása és a perifériák megfelelő elhelyezése (6. ábra). A turbófeltöltő nyomóágának kialakítása a motor hengerfeje mellett közvetlenül helyezkedik el, ahol kihívást jelentett a lefújószelep és intercooler elhelyezése.

A tervek szerint a motor a keréken 100 lóerő leadására lesz képes és 40 kg tömegű. Így a vázat érintő változások a következők:

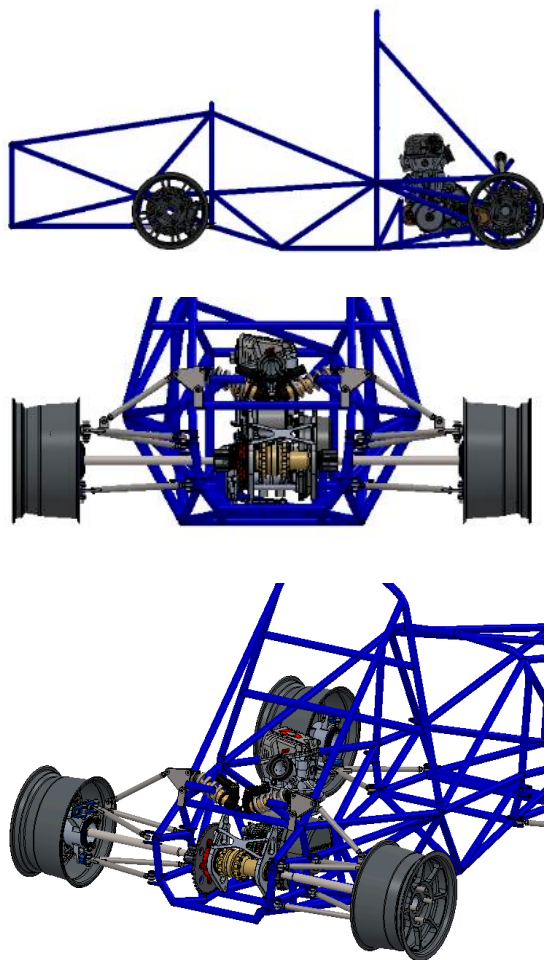
- Sokkal kisebb helyen is elfér, így kisebb motorteret kell kialakítani.
- A motort el kell látni (a vázon belül vagy külön a motoron) egy „védő kerettel”, ami a futómű terheléseitől védi az egységet.
- A motor bekötéseinek poliuretán szilentelek elhelyezése szükséges, mivel az egyhengeres konstrukció nagy mértékben vibrál.
- A turbó és külső olajhűtő helyeit a SZEngine tervezőivel egyeztetve kell elhelyezni, hogy a vázban elférjenek és könnyen szerelhetőek legyenek. Továbbá a komponensek melegezését is szeretnénk csökkenteni a megfelelő elhelyezéssel. (7. ábra)

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A második generációs csőváz tervezésénél célul tűztük ki a megfelelő hely biztosítását a jármű fő komponenseinek és a vázszerkezet tömegének csökkentését. Az új vázszerkezettel 22%-os tömegcsökkenést értünk el a korábbihoz képest és beépítésre került a SZEngine motorja. Az új erőforrás elhelyezése befolyásolja a motortér kialakítását. Ezt a következő években tovább fogjuk optimalizálni tömegcsökkentés szempontjából. Lehetőség van más anyagok, mint 25CrMo4 vagy E370 CR2 S2 használatára, amellyel a tömeg további csökkentése érhető el és növelni tudjuk a váz merevségét. További tervek között szerepel a vázszerkezetben ébredő feszültségek és elmozdulások végelemmel történő további vizsgálata és topológiai optimalizáció elkészítése.

4. IRODALOM

- [1] Ethan Daniel Rosenow: FSAE-EV Chassis Desing and Optimization, University of Alabama in Hunstville, 2022
- [2] Kádár L., Varga F., Kőfalusi P.,: Közúti járműrendszerek szerkezetana, BME, 2014
- [3] SAE International, 2011 Formula SAE Rules USA 2011
- [4] Anthony O'neil, Chassis design for SAE racer, University of Southern Queensland, 2005
- [5] Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K.H.: Engineering Design – A Systematic Approach, London: Springer-Verlag, ISBN 978-1-84628-318-5



7. ábra Motor elhelyezés

A csőváz elemeit 90 mm rádiusban CNC csőhajlítóval hajlítottuk a kívánt geometriára. Kettő prototípus legyártását követően a harmadik meghajlított csőelem került beszerelésre. A többi rácsos szerkezet két bázis meghatározásával került megépítésre. A bázisnak köszönhetően biztosítható a pontos összehegesztés. A gyártás során 141 volframelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztési technológiát alkalmaztunk, amely salakmentes magas minőségű hegesztést biztosít. Az elkészült csőváz szerkezet a 8. ábrán látható.



8. ábra Legyártott csőváz