



BUTE
TU BUDAPEST

TDK
ELSŐ MAGYAR FORMULA MONOCOQUE
2013

Készítők:

Székely Béla *MSc II. évf.* szekelybela88@gmail.com

Gönczi Ákos *MSc II. évf.* akos.gonczi@gmail.com

Kisillés Sándor *KSK BSc VII. évf.* skisilles@gmail.com

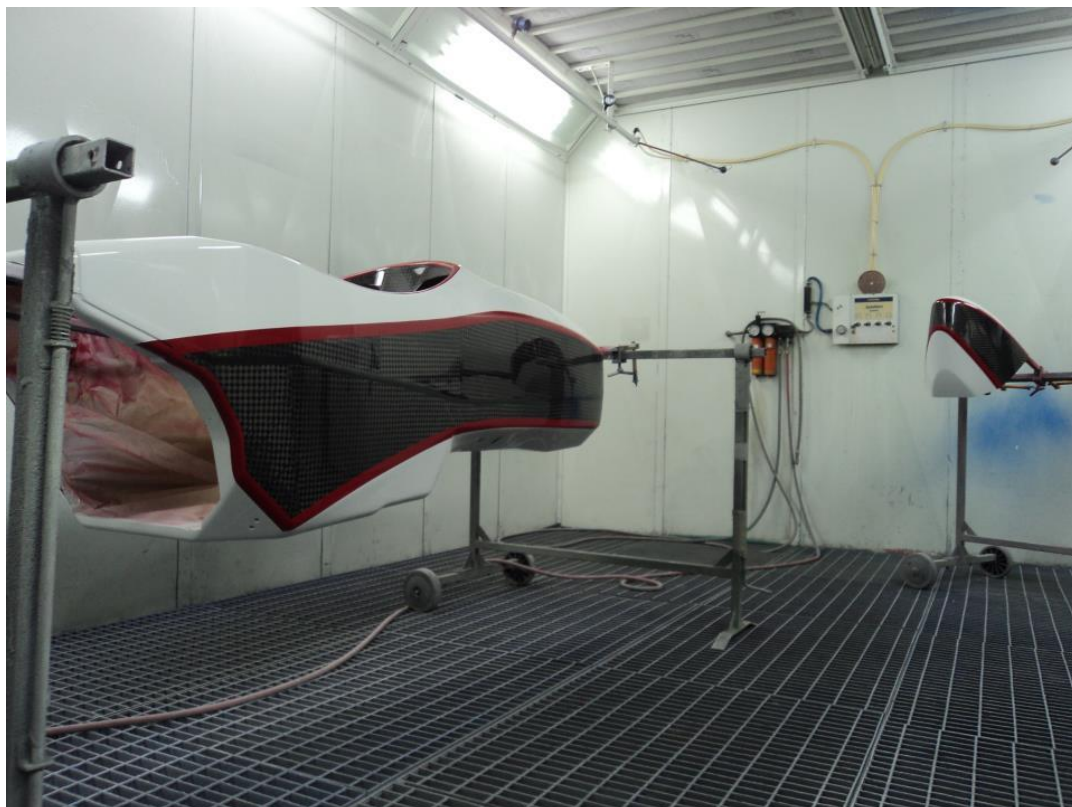
Bruncsics Benjámin *BSc III. évf.* brunscics.frt@gmail.com

Ódor Ádám *BSc V. évf.* adam.odor.09@gmail.com

Konzulensek:

Kling Sándor, *Polimertechnika Tanszék* Kling@pt.bme.hu

Farkas Zsolt, *Gép és Terméktervezés Tanszék* Farkas.Zsolt@gt3.bme.hu



1. ábra Az első magyar kompozit formula monocoque, az elkészülés pillanatában:
2013. május 12. 23:23:08, Biatorbágy, Magyarország



2. ábra Az FREC-003, „Michaela”, az első magyar kompozit formula monocoque-os versenyautó

I BEVEZETÉS

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem és Magyarország első Formula Student csapatának egyik legutóbbi fejlesztéséről szól ez a dolgozat, ami nem más, mint a hazánkban egyedülálló szénszál erősítésű kompozit járműváz, amely azóta legújabb versenyautónkba beépítve több ízben megmérettetett mind szakmai, mind tényleges versenykörülmények között. A monocoque héjszerkezet tervezését, gyártását, ezek anyagi hátterének biztosítását – amelyre nem tér ki a dolgozat – és a munkafolyamatok egészének koordinálását diákok végezték.

A korábbi években több forrásból is úgy értesültünk, hogy kompozitot nem lehet méretezni. Az iparban viszont már sok éve foglalkoznak hasonlóval – most pedig nekünk is sikerült, így igazolódott, hogy nem lehetetlen. Azonban sokan nem is tudják, hogy mennyi tudás, munka és kutatási eredmény van Magyarország első formula monocoque-jában. Az egész projektben összesen 18.150 munkaóra van, amiből több mint 12.100 a tervezésre, 6.050 pedig a gyártásra ment el. A tervezési idő természetesen magába foglalja azt az időszakot is, amikor a feladattal még csak ismerkedtünk. Ez 2010 őszén kezdődött, az egyetemen. A GT3 Tanszéken ezeket házi feladatként, önálló feladatként, projektfeladatként, sőt TDK-nak tudtuk elfogadtatni, amit csoportmunkában végeztünk. Ez összesen 15 diákot érintett 3 év alatt, kisebb-nagyobb részfeladatként. Az így megszerzett tudásbázist 2012 őszén csatasorba állítva készült el az FREC-003 monocoque terve, amelynek megtervezése pár hónap alatt körülbelül 3.000 munkaórát követelt. A gyártás hasonló intenzitással zajlott: mindössze 94 nap kellett a szerkezet elkészítéséhez, ezalatt a kompozit csoport 30 tagja, a 20.000 km szénszál mellett, összesen 6.050 munkaórát tett bele.

A dolgozat terjedelme ellenére számos témakört említés szinten érint, mintegy összefoglalva azt a mennyiségű munkát, amit ez a hatalmas projekt igényelt. A versenysorozat, a Budapesten működő csapat és a monocoque szerkezet céljának ismertetésén keresztül jutunk el a tervezési, előkészítési és gyártási fázisok részletes bemutatásához.

II FORMULA STUDENT

A Formula Student világméretű, egy egyetemek közti mérnökverseny, amelyben a diákok terveznek, építenek, tesztelnek és végül versenyeznek kis méretű, formula típusú versenyautókkal. A sorozat 1981-ben indult az Egyesült Államokban. Elsődleges célja, hogy a résztvevő egyetemi hallgatók elméleti tudásukat átültessék a gyakorlatba.



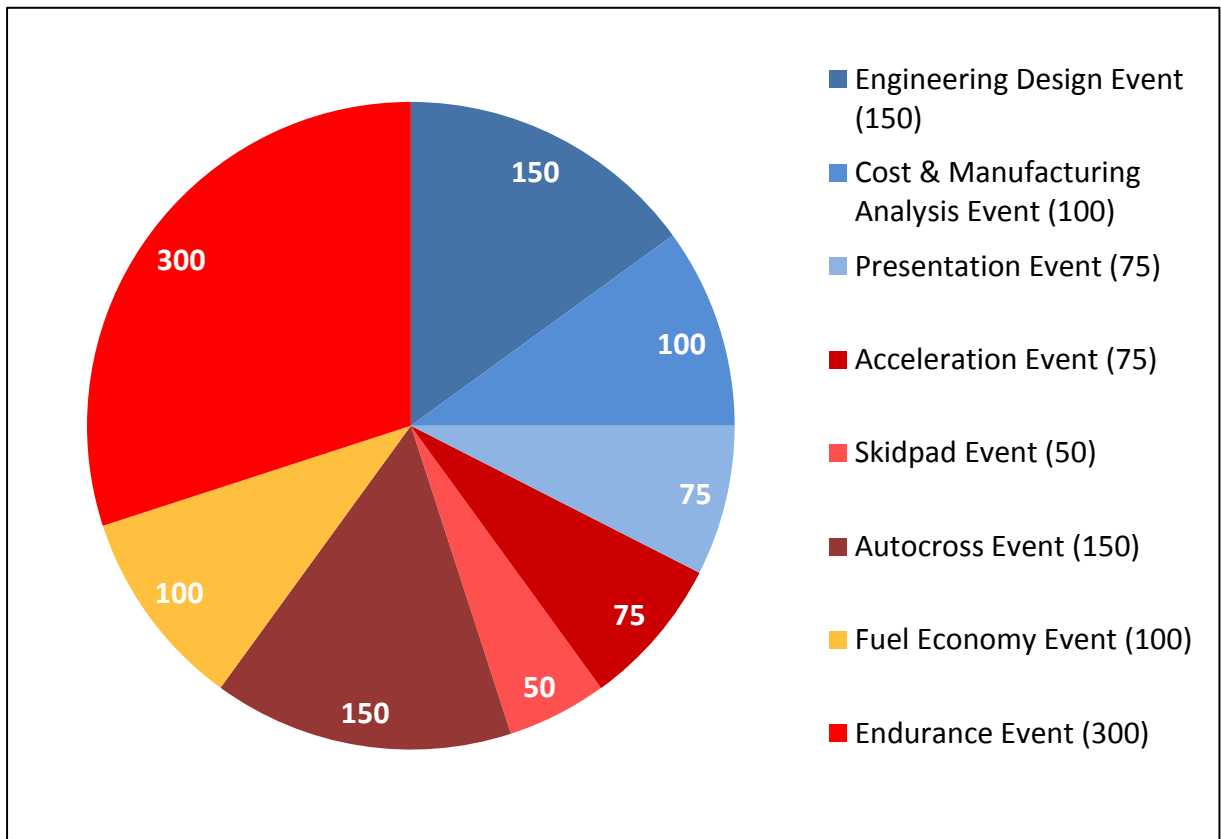
3. ábra Formula Student csapatok a világ minden tájáról

A versenyzők feladata, hogy megtervezzenek, megépítsenek egy egyszemélyes versenyautót és mindezt dokumentálják, hogy különböző megmérettetéseken vehessenek részt vele. A résztvevők megízlelhetik, hogyan működik egy vállalat a való életben, hiszen számos gyakorlati problémával kell szembesülniük a felkészülés során, mint pl. kommunikáció a beszállítókkal, a legújabb technológiákkal való munka. A tagság különösen nagy előnyt jelenthet a frissdiplomás mérnökök számára, és nem csak a tapasztalattöbblet miatt, hanem mert láthatják, hogy az iparnak mire is van szüksége.

“Nem tanulhatod meg az iskolában azt, amit a világ tesz a következő évben.”

- Henry Ford

A versenyek a világ minden pontján szerveződnek: az Egyesült Államokban, Kanadában, Ausztráliában, Brazíliában, Japánban, Kínában, az Egyesült Királyságban, Németországban, Olaszországban, Spanyolországban, Ausztriában, Csehországban és Magyarországon. A versenyszámok két fő csoportra oszthatók: a statikus és a dinamikus versenyszámokra. A statikus versenyszámokban a csapatnak be kell mutatnia a tervezési folyamatokat, a költségkalkulációkat és az üzleti tervüket. A dinamikus versenyszámok alatt pedig az autójuk teljesítményét kell bemutatniuk a skid-pad-en, gyorsuláson, sprintben és a tartóssági versenyszámon.



4. ábra Egy Formula Student verseny pontelosztása

A diákok, akik részt vesznek benne, nem csak fejlett technikai képességekre tesznek szert, hanem marketingben, logisztikában, menedzsmentben is jártasak lesznek, valamint megtanulnak csapatban dolgozni – melyek minden ipari szektorban fontos tényezők.

Miért pont versenyautó?

- Komplex.
- A versenyhelyzet hozza ki a legjobbat a termékből.
- Érdekes.
- Vonzó.

“Az autóverseny, a bikaviadal és a hegymászás az igazi sport...

...a többi mind játék.”

- Ernest Hemingway

„Amit a legjobbnak találok a Formula Student-ben, az az innováció, amire biztat, mivel a versenyszabályzat nagy tervezői szabadságot enged a résztvevőknek. Ez sok különböző megoldást eredményez azonos problémákra...

Saját magam is megjárva a ranglétrát, én is azt vallom, hogy a jó mérnöki alapozáshoz a gyakorlati tapasztalat elengedhetetlen. A Formula Student egyesíti a kézi praktikai megoldásokat a diákok felsőoktatási tanulmányaival, de fontos tapasztalatokat nyújt a költségvetés, a projektmenedzsment és a csapatmunka területein is.

Mindegy, hogy a résztvevők végül a motorsport vagy egy másik mérnöki szektor felé indulnak el végül... a Formula Student segítséget nyújt a jövőbeli sikereikhez."



*Ross Brawn OBE
Formula Student pártfogó,
Csapatfőnök, MERCEDES AMG
PETRONAS Formula One Team*

II.1 FORMULA STUDENT BUDAPESTEN, A BME FORMULA RACING TEAM

II.1.1.1 A BME FORMULA RACING TEAM-RŐL

BME Formula Racing Team 2007-ben alakult a Műegyetemen azzal a céllal, hogy részt vegyen a Formula Student sorozatban, hagyományt teremtve ezzel a Műszaki Egyetemen és Magyarországon.



5. ábra Formula Student Budapest, a BME Formula Racing Team, FRC-003

Öt éves fennállásunk során már 8 autót építettünk és több mint 200 hallgató tevékenykedett a tervezés, a beszerzés, a gyártás, és a versenyautó építése mellett további fontos területeken is, mint a menedzsment, a logisztika és a gazdasági ügyek intézése. Jelenleg 160 aktív taggal működünk, akik közt található gépész-, közlekedés-, villamosmérnök és közgazdaságtan hallgató is. 2011-ben mutatkozott be

a Formula Student mezőnyében a BME FRT első elektromos hajtású versenyautója. 2012-ben a benzines autó alapjait felhasználva építettünk az elsőnél 44 %-kal könnyebb autót. Az elektromos hajtásláncból szerzett tapasztalatok és az eddigi járműdinamikai tudásunk alapján alkottuk meg 2013-as koncepciónkát: egy elektromos hajtású monocoque - os versenyautót.

Fontosnak érezzük tevékenységünket mindinkább integrálni, összehangolni az egyetemi képzés megfelelő tantárgyaival, szorosabb együttműködést létrehozni a meghatározó tanszékekkel és ipari vállalatokkal, elismertségre szert tenni az oktatók és a szakma képviselőinek szemében, továbbá népszerűsíteni szervezetünket az egyetem hallgatói és a nagyközönség körében. A versenyautók tervezése során készült, közvetlenül a témából több, mint 25 önálló féléves feladat, 3 FISITA Student prezentáció, 40 TDK dolgozat és 30 diplomamunka. Ezek a dolgozatok önmagukban is magas szakmai szintet képviselnek, de összességében hangsúlyosan fejezik ki a csapat know-how-ját..

Kapcsolat:

- <http://frt.bme.hu/>
- info.bme.frt@gmail.com
- <http://www.facebook.com/FormulaRacingTeam>

II.1.1.2 EREDMÉNYEK

2008

Hockenheim: 2. legjobb újonc csapat

összetett 49. hely (78 induló)

Fiorano: összetett 16. hely (31 induló)

FSE: Győr: összetett 24. hely (41 induló)

2009

Hockenheim: összetett 58. hely (78 induló)

Silverstone: összetett 3. hely (Class 3)

2013

Csehország: összetett 11. hely (40 induló)

Acceleration: 3. hely

Autocross: 4. hely

Skidpad: 4. hely

2010

Silverstone: összetett 20. hely (84 induló)

Győr: összetett 2. hely (11 induló)

Győr: összetett 9. hely (43 induló)

Elektromos kategória 2. hely

Design Event: 1. hely

Static Events: 2. hely

2011

FSC: Silverstone: összetett 29. hely (124 induló)

összetett 2. hely (Class 2)

FSC: Győr: összetett 6. hely (28 induló)

Autocross: 3. hely

Endurance: 3. hely

FSE: Torino: összetett 6. hely (16 induló)

Energiahatékonyság: 1. hely

2012

FSC: Hockenheim: összetett 17. hely (77 induló)

Business Plan: 8. hely

Design Event: 10. Hely

FSE: Silverstone: összetett 59. hely (102 induló)

Design Event: 20. hely

Cost Event: 19. hely

FSC: Győr: összetett: 7. hely (41 induló)

Sprint: 1. hely

Autocross: 1. hely

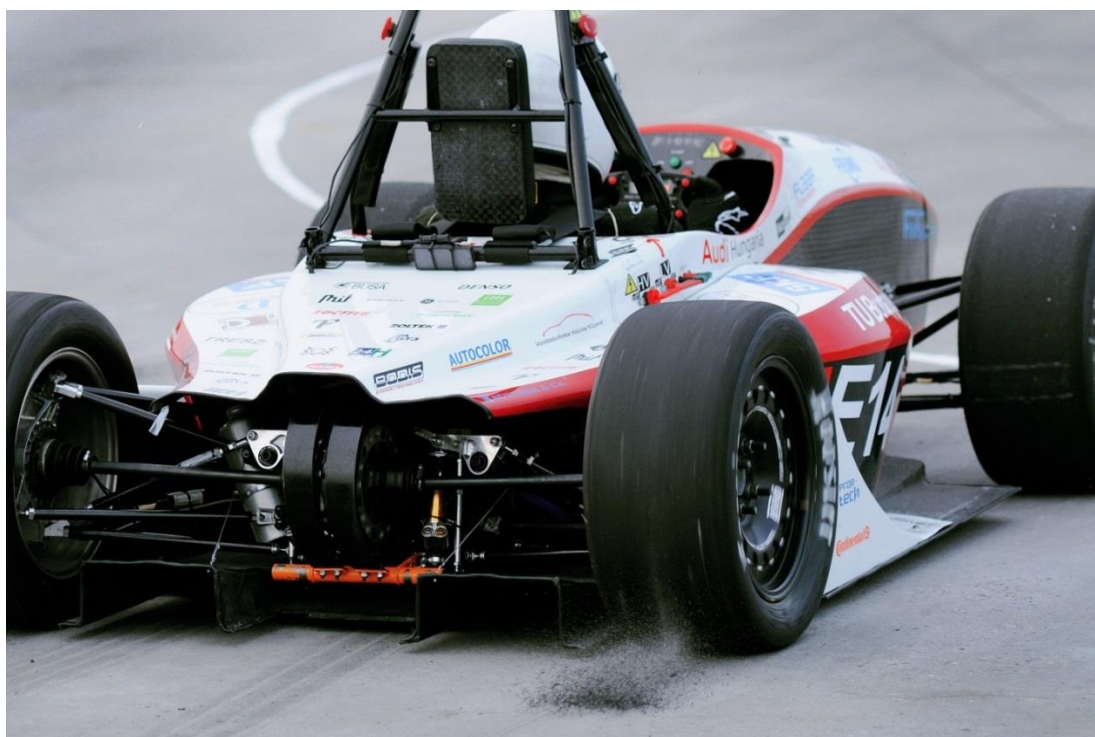
Business Plan: 3. hely

Design Event: 7. hely



6. ábra A BME Formula Racing Team négy korábbi autója a 2011-es Fundrive-on, balról jobbra:

1. FRC – 003 Dívá (új, fekete burkolattal) 2010, 2. FRC – 001 “Cube” 2008, 3. FREC – 001 “Aranka” 2011 and 4. FRC – 004 “Maula” 2011.



7. ábra Idei fő fejlesztésünk, beépítve az első magyar monocoque formula autóba

II.1.2 **Az FREC – 003 FŐBB PARAMÉTEREI:**

- Karbon kompozit monocoque héjszerkezetű és térhálós acélcső hibrid szerkezetű vázzal, a jármű össztömege 250 kg
- 2x35 (60) kW teljesítményű elektromos motor, max. 160 LE
- 0-100 km/h: 3,5 s
- Aerodinamikai elemek
- Egyedi tervezésű kábelkorbács, Accumulator Monitoring System (AMS)
- 95% egyedi tervezésű és gyártású alkatrészekből készült

II.2 „A JÁTÉK LÉNYEGE”

II.2.1 A VERSENYAUTÓ-TERVEZÉS ÁTTEKINTÉSE

A versenyautó tervezése, csak úgy, mint bármely más gépelemé, kérdések feltevésével kezdődik:

- Mi a célja?
- Milyen lehetőségeink vannak?
- Milyen szabályoknak kell megfelelni és milyen határokba ütközhetünk?

Ha tudjuk a választ ezekre a kérdésekre, elvárásokat támasztunk a termékkel szemben. Egy versenyautó esetében a cél, hogy olyan gyorsan menjen végig a pályán, ahogy csak lehet.

„Ha valaki nem tudja, melyik kikötőbe vitorlázik, egy széljárás sem kedvez.”

– Seneca

Ekkor kezdődik a tervezés következő lépése:

- Pályaanalízis
- Milyen fajta mozgásokat igényel a pálya-karakterisztika?



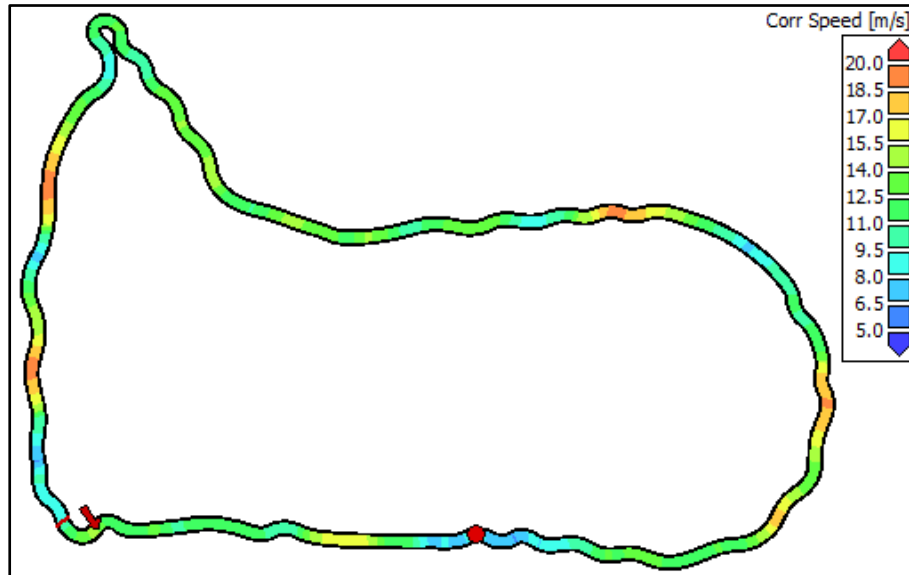
- Pilóta analízis

A Formula Studentben a pilótáknak amatőr, hobbi-pilótának kell lenniük.

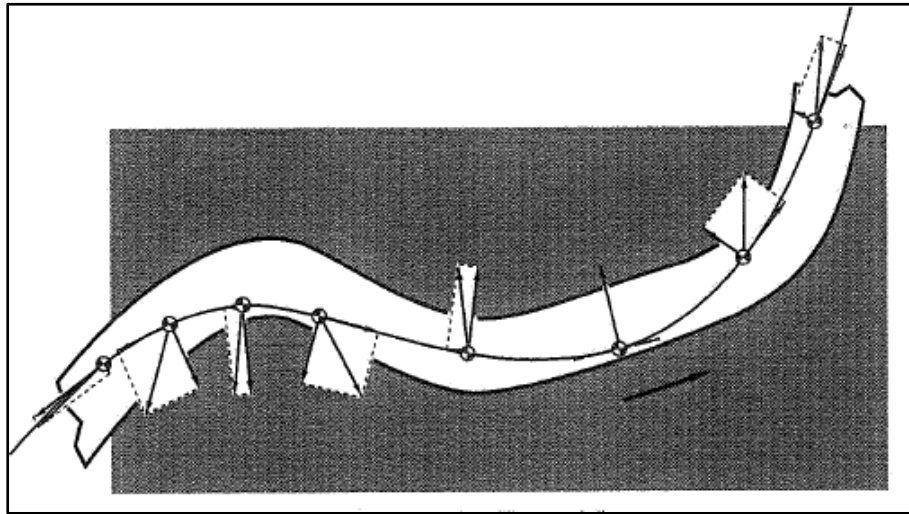
A kerekeken kifejtett erők mozgatják a versenyautót a pályán. Tehát a kerekeket kell megfelelően működtetnünk ahhoz, hogy maximalizálhassuk a rendelkezésre álló erőket. Ehhez ki kell választanunk a legmegfelelőbb gumi-karakterisztikát. Amikor elég információnk áll rendelkezésre a koncepciókról, elemezhetjük azt az MMM diagram segítségével, hogy megismerjük az erő- és nyomaték előállító képességét.

II.2.2 JÁRMŰTÖMEG

Az előző fejezetben meghatároztuk a célokat. Ahhoz, hogy egy versenyautó a lehető leggyorsabban végigmenjen a pályán, annak minden pontjában a lehető legmagasabb sebességet kell elérnie. Ez elég gyorsan változik, ezért a lehető legnagyobb gyorsulásra van szükségünk.



8. ábra Sebesség a pálya vonalán



9. ábra Gyorsulásvektor a pálya vonalán

„A lehető leggyorsabb autóvezetés egy versenyen belül arról szól, hogy minél tovább fenntartsd az elérhető legnagyobb gyorsulást a megfelelő irányban.”

– Peter G. Wright, Technical Director, Team Lotus

Newton második törvénye szerint, ahol ebben az esetben F a keréktalpponti erő, m a jármű tömege, az elérhető gyorsulás, a tömegcsökkentés fontossága könnyen látható.

$$\mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m\mathbf{a}$$

Ha a gyorsulást (a) szeretnénk maximalizálni, maximális erőre van szükségünk minimális tömeggel. A keréktalpponti erő (F) maximalizálható a megfelelő gumi-karakterisztikával, megfelelő futómű-karakterisztikával, geometriával és jó beállításokkal, ami rengeteg tesztelést igényel.

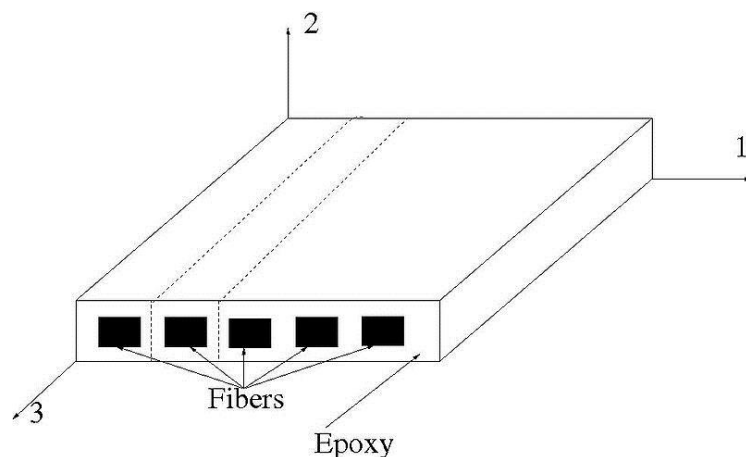
III IRODALOMKUTATÁS

III.1 A VERSENYAUTÓ VÁZSZERKEZETE

A jármű váza nem más, mint az egyes alkatrészek összekapcsolásáért, hordozásáért felelős gépelem. Az egyik legigényesebb alkatrész, hiszen valamilyen módon minden alkatrész kapcsolódik hozzá, így helyes, pontos kialakítása a teljes jármű helyes felépítését és működését befolyásolja. A váz konstrukciójának kialakítása során azonban számos további szempont is fontos szerepet játszik: Az alkatrészeket nem elég rögzíteni; többségüknek a megfelelő pozícióban kell állnia a helyes működés érdekében. Ez a feladat a vázra ható igen nagy üzemi erők és nyomatékok miatt különösen nagy merevséget tesz szükségessé. A terhelések hatására fellépő deformációk minimalizálása ezen kívül a jármű irányíthatóságát is befolyásolja, és a tervezett járműdinamikai tulajdonságok is csak egy igen merev vázszerkezet felhasználása mellett tekinthetők minden esetben állandónak. Fel kell készülni arra is, hogy a vázra előre nem láthatóan nagy erők hatnak. Ilyen egy esetleges baleset, vagy meghibásodás esetében fordulhat elő. A biztonság érdekében ezért a méretezés során nem elég az üzemi terhelésre méretezni, biztonsági merevítésre is szükség van, ezeket az ide vonatkozó szabályzati részek szabályozzák. Továbbá megjelenik a méretezés kapcsán az előállítás költségvonzata: Törekedni kell a minimális anyagfelhasználásra, lehető legegyszerűbb és leggyorsabb gyárthatóságra. Az eddig felsoroltak szempontoknál is fontosabb tehát, hogy az autó megfeleljen a versenyszabályzat sokrétű feltételrendszerének. Mindezeknek a monocoque szerkezet maradéktalanul megfelel.

III.2 SZÉNSZÁL-ERŐSÍTÉSŰ POLIMER KOMPOZIT

Az iparban egyre gyakrabban használt szerkezeti anyag kiváló tulajdonságai és egyre olcsóbb ára, valamint gyorsabb gyártási technológiája miatt vált közkedveltté. Az anyag kompozit, azaz több anyag kombinációjaként alkot szerkezetet: A nagy rugalmassági modulusú erősítő



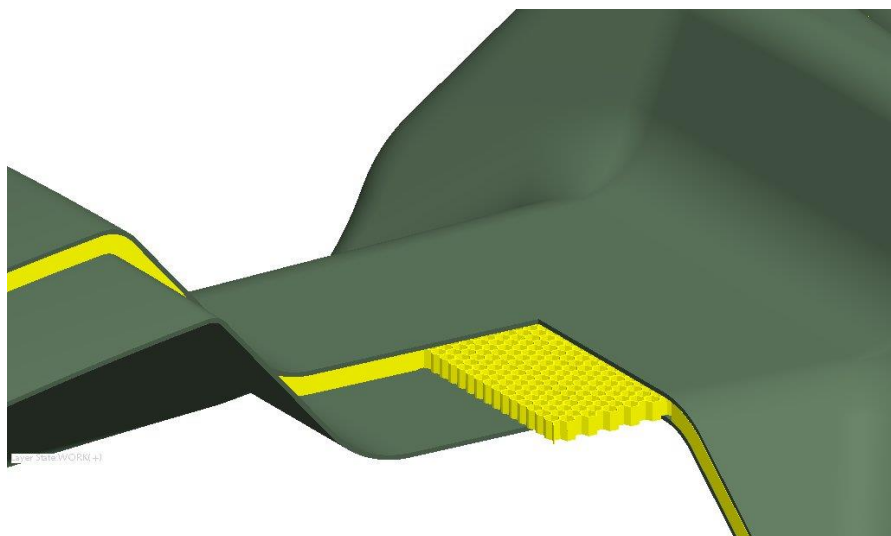
10. ábra Laminátum, a kapcsolat a szálak és a mátrixanyag között

szálként szolgáló szénszál mellett egy – mátrix-anyagnak hívott – további alkotó felel a szálak összetartásáért, és orientációjuk megtartásáért. Szénszál használata esetén ez az összetevő általában epoxy-gyanta. A mátrix teljesen körülvéshi az erősítő anyagot, közöttük adhéziós kapcsolat áll fent, amely a deformáció magas szintjén is fennmarad. Az anyagtypust először repülőgép alkatrészek gyártása során használták fel az 1960-as években, azonban a technológia fejlődésével egyre több területen kezdtek alkalmazni a hagyományos szerkezeti anyagok leváltására kitűnő eredménnyel. A repülőgépipar után a motorsport, majd a versenyszerűen használt sporteszközök anyagaként is megjelent, és mára már a közúti sportautók, valamint prémium kategóriás járművek széles skálájában található legalább néhány ilyen alkatrész. Más polimer kompozittal szemben használata a kimagasló mechanikai tulajdonságai miatt indokolt, bár magasabb ára is tükrözi a jobb tulajdonságait.

Ezek alapján tehát olyan felhasználási területeken kifizetődő a felhasználása, ahol az acélhoz hasonló mechanikai tulajdonságok mellett igen kis tömeg szükséges. A szénszálas szerkezet kialakítása során számos típusú alapanyag és gyártási technológia közül kell választani a rendelkezésre álló technikai és anyagi háttér függvényében. A szénszálas rétegek lehetnek egyirányú (Unidirectional – UD) szerkezetűek, és szöttek, melyek az egyes irányokban felvehető terhelés nagyságában különböznek: az UD anyagok egy irányba nagyon nagy (100-200 de akár 500 GPa-os) merevséggel rendelkeznek, míg a sík másik irányában elhanyagolhatóval; ugyanakkor a szövetek a sík mindkét irányában azonos, de kisebb (átlagosan 50 - 100 GPa-os) merevséget mutatnak. Az alapanyagon túl a gyártási technológia is legalább ekkora befolyással bír a végleges tulajdonságokon: A Magyarországon legelterjedtebb kézi laminálási technológiát (a rétegek manuális felhelyezése és mátrix-anyaggal történő impregnálása) jóval meghaladó minőségű termékek készíthetők gépesített gyártással (csak korlátozott bonyolultságú felületeken alkalmazható), valamint prepreg anyagok (előre impregnált, szintén kézzel fektetett rétegek) felhasználásával. Az anyagok utókezelése a túlnyomásos kamrában (Autoclave), vákuummal és hőkezeléssel (a légzárványok elkerülése érdekében) szintén jelentős minőségjavulást eredményezhet.

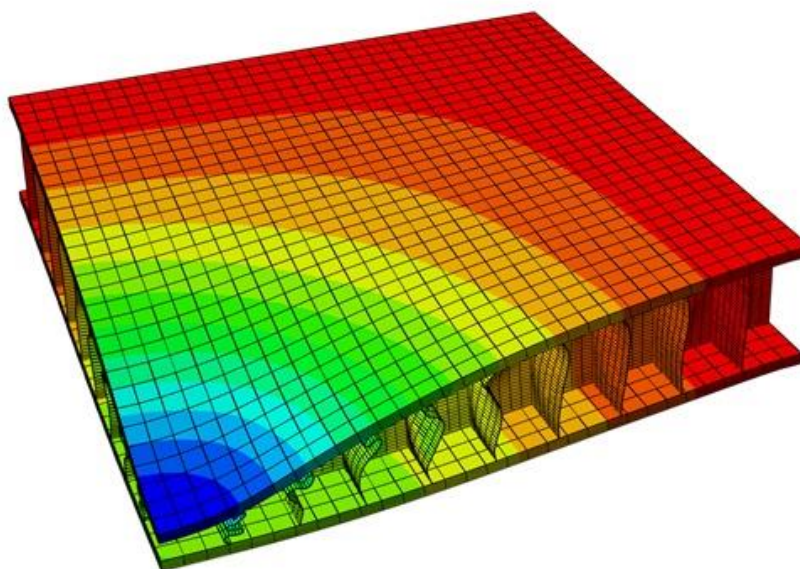
III.3 SZÉNSZÁL ERŐSÍTÉSŰ POLIMER KOMPOZIT SZENDVICSSZERKEZET

Bár a szénzál erősítésű kompozit anyag igen nagy húzási igénybevételt visel el és hajlítási tulajdonságai is kitűnőek, további erősítés és tömegcsökkenés érhető el szendvicsszerkezet alkalmazásával.



11. ábra Szénzál erősítésű polimer kompozit szendvicsszerkezet

E felépítésben a laminátum két oldalról egy úgynevezett szendvicsanyagot/maganyagot határolnak. A maganyag feladata, hogy az anyag hajlítási merevségét ($E \cdot I$) növelje, melyet két módon segít elő: egyrészt az anyag síkjára merőleges irányba (normális irány) a lehető legnagyobb merevséget kell mutatnia, hogy hajlítás közben a legkevésbé tudjon csak összenyomódni, valamint a vastagságából adódóan növelje a keresztmetszet másodrendű nyomatékát (I). A maganyag szerkezete, anyagválasztása során tehát a lehető legnagyobb harmadik irányú merevség elérése a cél, minimális fajlagos



12. ábra Szendvicsszerkezet modellezése Abaqussal

tömeg mellett. Ezt általában valamilyen méhsejt-szerkezetű anyaggal érik el, melynek sokszor a merevsége elhanyagolható, és inkább a keresztmetszet növelése a valódi cél. Szénzálal szerkezetek merevítésére leggyakrabban alumínium, vagy ultrakönnnyű

szerkezetekben aramid, és egyre gyakrabban textil méhsejteket alkalmaznak. Mivel mi a vákuum infúziós technológiát (RTM – Resin Transfer Moulding) használunk gyártáshoz, ezért a méhsejt – a nyitott cellák lévén – elvetendő, így zárt cellás maganyagot használunk.

III.4 A MONOCOQUE SZERKEZET

A monocoque szerkezet egy héjelemekből felépülő önhordó vázszerkezet (nevét, mely jól leírja a felépítését a görög mono (egy) és francia coque (héj) szavakból képezték), melynek felhasználása teljesen kiválthatja a hagyományos csőváz alkalmazását. Használatával jelentős tömegcsökkenés érhető el, amely miatt már a versenyjárművek mellett közúti járművek felépítésében is domináns szerepet játszik. Az első felhasználói a szénszálas kompozit anyaghoz hasonlóan szintén a repülőiparhoz kötődnek, majd az autóipar is igen hamar alkalmazni kezdte (így épülnek fel a ma már általánosan használt önhordó karosszériák) jelentős tömegcsökkentő hatása miatt. Egyes versenycélra készített jármű kivételével minden modern gépjármű ilyen szerkezettel épül fel.



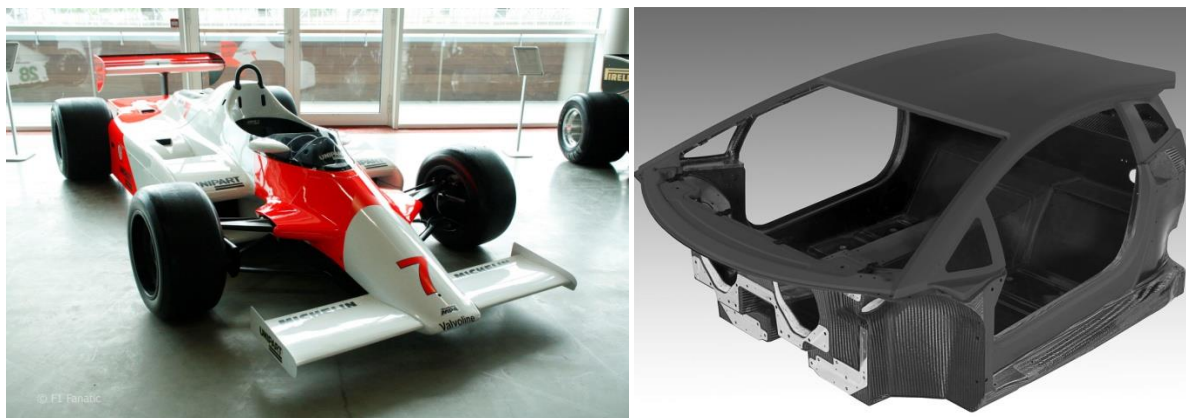
13. ábra A különböző részegységek felszerelése a monocoque szerkezetre

A szerkezet héjelemekből épül fel, amelyek a jármű borítása mellett egyben teherviselő elemként is működnek, így akár teljesen elhagyható a térhálós vázszerkezet. Egyes nagyobb igénybevételű területeken a héjszerkezetet megerősítik, melyre több megoldás is kínálkozik: A többi zóna

szerkezetéhez képest több réteget rögzítenek össze a héjakból, a rétegeket egymásra hajtva érnek el nagyobb vastagságot, vagy szendvicsszerkezetet alkalmaznak. Utóbbi nem használható fel olyan helyeken, ahol a monocoque-hoz csavarozással, vagy szegecseléssel rögzítenek alkatrészeket. A szerkezetet felépítő anyag lehet természetes polimer (fa), fém, vagy a legmodernebb esetekben valamilyen szálerősítésű polimer kompozit.

III.5 KARBON KOMPOZIT MONOCOQUE SZERKEZET

Az ipar hamar felismerte a szénszálas kompozit anyagban rejlő további tömegcsökkentési lehetőségeket, hiszen a legkiválóbb a merevség-tömeg aránya.

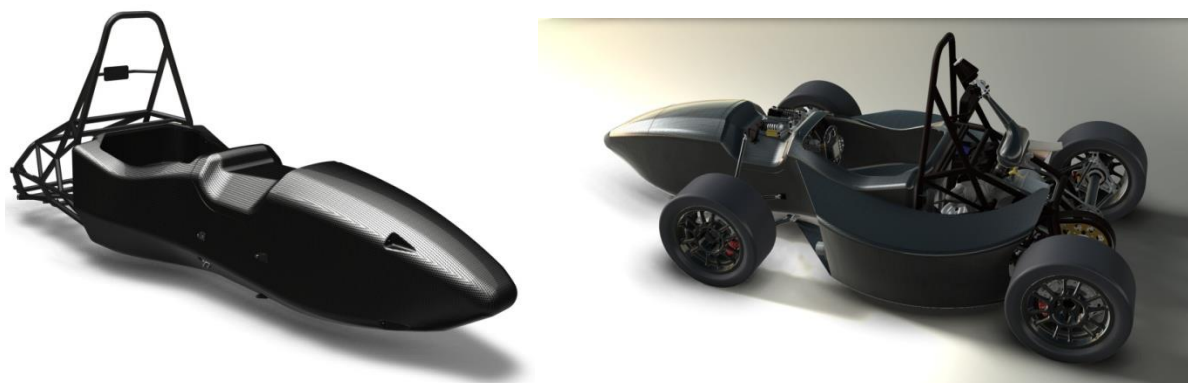


14. ábra: Az első monocoque McLaren MP4/1 és egy újszerű utcai karbon utascella

A monocoque alkatrészek bonyolult gyártási technológiája miatt azonban először nem a nagy testű gépeket alkalmazó közforgalmú légiközlekedésben alkalmazták. Legfontosabb úttörői a kisrepülőgépek, sportrepülőgépek gyártói, valamint a folyamatos innovációra törekvő Forma-1-es csapatok voltak. A karbon monocoque szerkezet merevítését a szükséges helyeken több réteg egymásra laminálásával, szendvicsszerkezet alkalmazásával, de legegyszerűbben a karbon kompozit szerkezet ortotrópiájának felhasználásával érhető el, míg más alkatrészeket általában hagyományos erőzáró kötésekkel (csavar, szegecs) rögzítenek rá. Az anyag kisebb sűrűsége miatti tömegcsökkentésen túl a vázszerkezethez szükséges kötőelemek is elhagyhatóak a használatával. Ezt leginkább a jelenleg forgalomba álló modern utasszállító repülőgépeken használják ki. A fém monocoque használata során ugyanis szegecsekkel rögzítik egymáshoz az egyes lemezeket, a karbon monocoque szerkezetű gépek teste azonban egyetlen nagy laminátumként készül el. Legfrissebb eredmény, hogy már közúti sportautót is építenek monocoque szerkezetet felhasználva. A motorsportban alkalmazott monocoque szerkezetek esetén számos további követelményt is figyelembe kell venni. A monocoque-nak kell felvennie a futómű-

bekötésből, valamint a motor, vagy a motortartó keretből érkező terheléseket, így annak különösen merevnek kell lennie. E célból a szerkezet minél nagyobb részét szükséges egy laminátumként kialakítani, mivel a készre laminált részek határán csökken a teherbíró képesség. A legelterjedtebb ezért a szerkezet két részben történő elkészítése vízszintes osztósíkkal. Továbbá a járművek felülete az aerodinamikai szempontok miatt nagyon jó felületi minőségű kell, hogy legyen, amit a lehető legkisebb tömeg elérése érdekében magának a monocoque felületének kell biztosítania.

A BME-n működő BME Formula Racing Team 2008 óta készít erre a versenysorozatra autókat, melyeket eddig acél csővázból készültek. A csapat először 2011-ben a Silverstone-i versenyen mutatott be először tervszinten egy monocoque karbon vázat, ezzel C2 kategóriában 2. helyezést ért el. Ez a munka a 2011-es konferencián bemutatásra került és 1. díjban részesült.



15. ábra: BME-FRT 2011-es monocoque vázszerkezetének terve

IV TERVEZÉS

Ez a fejezet a geometria tervezéssel foglalkozik.

IV.1 MONOCOQUE KÖVETELMÉNYEK

IV.1.1 MONOKOK ÉPÍTÉSÉNEK RENDELTETÉSE ÉS ELÉRNI KÍVÁNT CÉLJAINK

1. Tömegcsökkentés
2. Technológiai színvonalunk növelése kivitelezés és kompozit téren
3. A tervezéséhez és gyártásához szükséges lépések végigjárása, know-how teremtése
4. Az első „ősmonocoque” megalkotása, melyre generációk épülhetnek

IV.1.2 AZ IDEÁLIS ÚJGENERÁCIÓS AUTÓ...

IV.1.3 CSAPATSZINTŰ MEGKÖZELÍTÉS

1. Tömegben csökken
2. Kitesztelt hajtáslánccal és vezérléssel rendelkezik
3. Első évben bemutatatható és megbízhatóan versenyeztethető
4. Második évben nyerhető vele verseny
5. Célrányosan ledokumentált és megtervezett

IV.1.4 VERSENYZÉS SZEMSZÖGÉBŐL VALÓ MEGKÖZELÍTÉS

Első év

- Statikus versenyszámokban való erősödés
- Erősen dokumentált tudásanyag, validációkkal
- Biztonságos dinamikus versenyszámok

Második év

- Totális győzelem elektromos és benzines hajtáslánccal

IV.1.5 WEEKEND DRIVER SZEMSZÖGÉBŐL VALÓ MEGKÖZELÍTÉS

1. Vezetési élmény
2. Versenyaútó mint "státuszsimbólum"
3. Hétvégi "játékszer"
4. Külsőre megnyerő, mutatós és biztonságos

IV.1.6 AZ IDEÁLIS ÚJGENERÁCIÓS MONOCOQUE

5. Megtartja és monocoque-ba örökíti/"fixálja" át a jelenlegi „bevált” koncepciókat
6. Olyan a felépítése, amely a jövőben kisebb koncepcionális szinten történő változtatásokat is elvisel, ill. teret hagy rá
7. Külsejére könnyen hozzáférhető és szerelhető perifériák csatlakoznak
8. Kompatibilis elektromos- és benzines hajtáslánccal is
9. (Teljes monocoque-ká is alakítható)

IV.1.7 TERVEZÉS KÖVETELMÉNYEI

1. Súlypont: alacsony kialakítás
2. Gyárthatóság: kevés és sík osztósíkok
3. Egyszerű forma: szabadfelületek kerülése
4. Minimális térfogat: nagy tervezési szabadság és függetlenség a többi részegységtől
5. Futómű változtatási lehetőség (konzolok)
6. Kompakt kialakítás
7. (Aero)

IV.2 KÖVETELMÉNYJEGYZÉK

A tervezés első lépéseként, a környezetfeltáró mátrix alapján, összegyűjtöttük a termékkel szemben támasztott követelményeket, melyeket a megrendelő igényei, az általános elvárások és az ide vonatkozó törvényi, biztonságtechnikai szabályozások figyelembevételével kerültek felállításra.

K: Állandó-, vagy alapkövetelmények. Nincs teljesítési szintje, minden esetben teljesülnie kell.

M: Minimális-, vagy szintkövetelmények. Minden esetben teljesülnie kell, de a teljesítésnek van mértéke. Ezért ezek már rangsorolási, értékelési szempontként is szerepelhetnek.

O: Kívánságok, óhajok. Teljesítésük a termék értékét befolyásolja, így többségük értékelési kritérium lesz

IV.3 GEOMETRIAI KÖVETELMÉNYEK

A szerkezetre vonatkozó geometriai követelményekkel kezdtük a követelményjegyzék felépítését.

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
1.	K	Gép befoglaló méretei	1700x650x570	
2.	K	Tömeg	~17-25 kg	Bukócsövekkel
3.	K	Kompatibilitás		Benzines és elektromos hajtáslánccal

IV.3.1 KINEMATIKAI KÖVETELMÉNYEK

A monocoque-ra vonatkozó követelmények közül a kinematikai követelményekkel folytattuk.

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
4.	O	Kis légellenállás		Jelentősen befolyásolja a gépjármű stabilitást és fogyasztását

IV.3.2 ERŐK, TERHELÉSEK

A szerkezetre ható erők, terhelések.

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
5.	K	Önsúly	~17-25 kg	Megfelelő anyaghasználat mellett az minél lejjebb szorítani
6.	K	Jármű tömege	~220-250 kg	Átlagos, felnőtt méretű kerékpár tömege
7.	K	Szélterhelés		Kis sebességnél nem jelentős

IV.3.3 ENERGIA

A szerkezetre vonatkozó fő energiafajták:

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
8.	K	Jármű tömeg	~220-250 kg	Kis tömeg, jó gyorsítások
9.	K	Jármű inercia		Reaktív
10	K	Jármű súlypont	<270 mm	Kis átterhelődések, nagyobb oldalgyorsulás

IV.3.4 ANYAG

Anyagfelhasználás a szerkezetben:

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
11.	K	Lamina		Epoxy mátrixú karbonszál
11.	K	Maganyag		műanyag, PVC
12.	O	Inzert		csatlakozási pontoknál
13.		Bukócsövek		

IV.3.5 BIZTONSÁG

Nem csak teherviselő, hanem biztonsági cella is a monocoque.

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
14.	K	Ütközésvédelem		nagyobb mértékű oldalirányú biztosítás
15.	M	Borulásvédelem		
16.	K	Tűzvédelem		

IV.3.6 GYÁRTÁS

Gyártás során jelentkező követelmények:

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
17.	K	Szabványos alkatrészek		Törekedni kell, szabványos alkatrészek felhasználására
18.	M	Kereskedelmi anyagok		Törekedni kell, kereskedelmi alkatrészek felhasználására
19.	K	Gyártószemélyzet		Csak megfelelően szakképzett személyzet alkalmazható
20.	K	Egy fő osztósík		Sík, hossz menti osztósík

IV.3.7 SZERELÉS

A szerelés során jelentkező követelmények:

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
20.	K	Szabványos szerszámok használata		
21.	K	Személyzet		Felnőtt személy végezheti, szakképzést nem igényel

IV.3.8 SZÁLLÍTÁS

A szállítás során jelentkező követelmények:

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
22.	K	Szállíthatóság		

IV.3.9 ÜZEMELTETÉS

Az üzemeltetés során jelentkező követelmények:

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
23.	K	Összeállítás		Használat előtti összeállítás nem igényel szerszámot
24.	K	Üzemeltető		Felnőtt személy végezheti

IV.3.10 KARBANTARTÁS

A karbantartás során jelentkező követelmények:

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
25.	K	Karbantartást kis mértékben igényel	kerülendő	Minimális szemrevételezés, tisztítás, repedések keresése

IV.3.11 **KÖLTSÉGEK**

Követelmények a költségekkel kapcsolatban:

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
26.	M	Előállítási költség	~3.000.000-6.000.000 Ft	Függ a gyártott darabszámtól

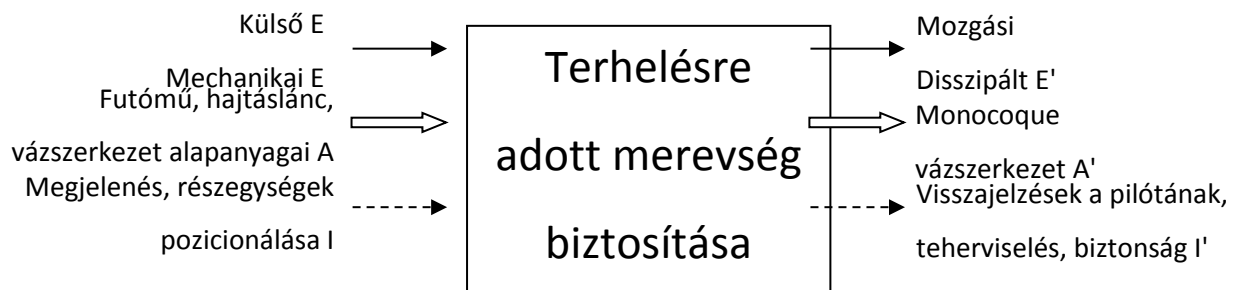
IV.3.12 **HATÁRIDŐK**

Követelmények a határidőkkel kapcsolatban:

Ssz.	Fajta	Követelmények	Célérték-tartomány	Megjegyzések
27.	K	Tervek lezárása (Design Freeze)	2012.12.20.	
28.	K	Rollout	2013.05.13.	
29.	K	Verseny	2013.07.	

IV.4 **ÖSSZFUNKCIÓ MEGHATÁROZÁSA**

A GT3 tanszéken tanított módszer szerint az összfunckió meghatározásával folytattuk:



16. ábra Terhelésre adott merevség biztosítása

Bemenet	Kimenet
Energia	
Futómű és hajtáslánc rögzítésekből adó terhelések, gyártási folyamathoz szükséges energia	A dinamikus igénybevételből származó energia eldisszipálása a váz elcsavarodásában, adott merevség megvalósításával
Anyag	
Alapanyagok, vázszerkezetre rögzülő futómű elemek, hajtáslánc elemek	Monocoque vázszerkezet részegységekkel
Információ	
Vázszerkezet megjelenése egyben burkolatelem is	Felületen ébredő szélterhelések, aerodinamikai funkciók, szponzorfelület
Statikus állapotában a rá rögzülő elemek tartása, pilóta súlyának tartása	Az abroncsok ideális pályán való haladásának megvalósítása és a pályáról adódó <u>visszajelzések</u> biztosítása a vázmerevség által
Ergonómiai információ, emberi test rögzítése	Pilóta merev rögzítése, „eggyé válás a járművel”

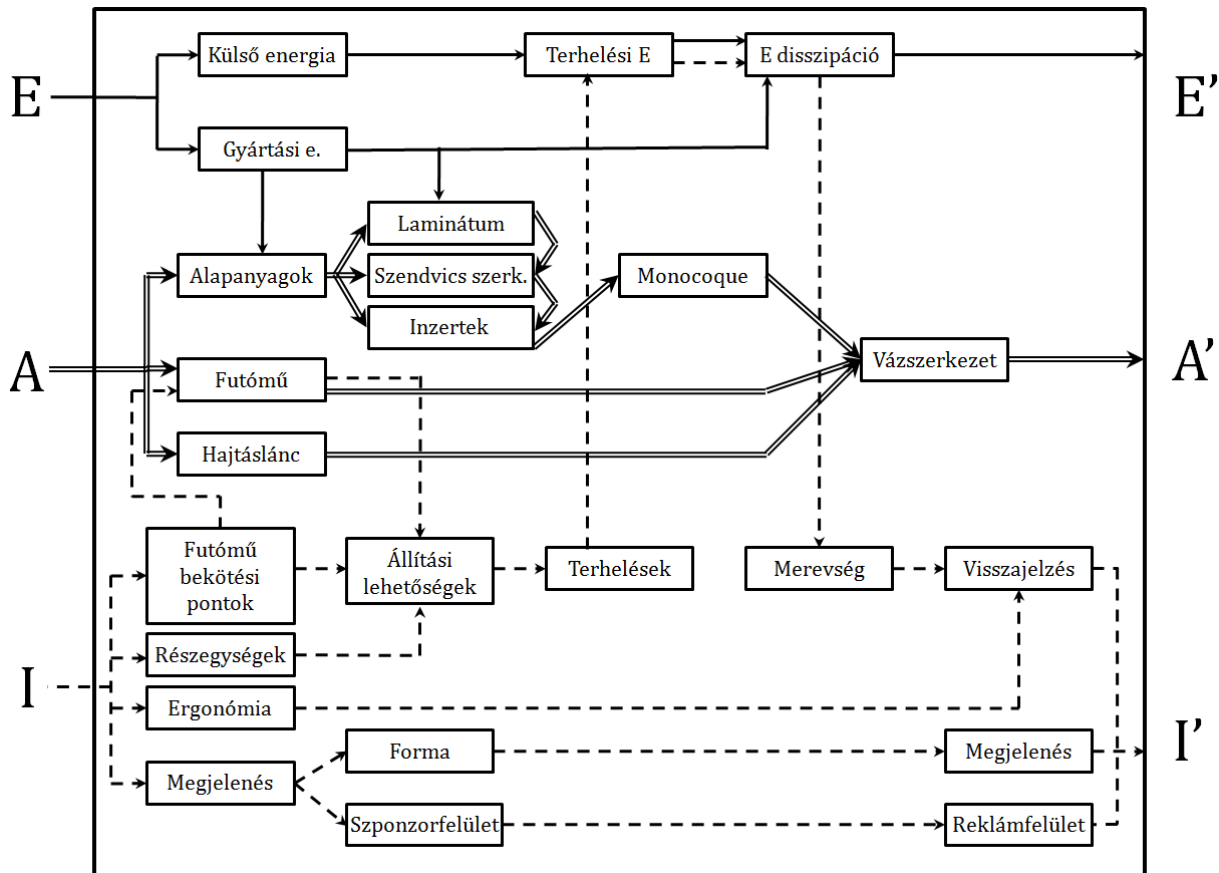
A váz fő funkciói a következők:

1. Biztonság
 - a) Pilóta rögzítése
 - Övek
 - Ülés
 - Fejtámla
 - Térdrögzítés
 - b) Bukókeretek rögzítése
 - Maint Hoop
 - Front Hoop
 - c) Gyűrődő zóna rögzítése
 - Orrburkolat
 - Intrusion Plate
 - Bulkhead
2. Részegységek tartása, hátulja tartása
 - a) Futómű
 - b) Rugóstag

- c) Himba
 - d) Stabilizátor
 - e) Kormányrendszer
 - f) Oldalburkolat
 - g) Pedálsor
 - h) Elektronikai elemek
 - i) Hajtáslánc
3. Formaadás
- a) Aero
 - b) Szponzorfelület
 - c) Megjelenés

IV.4.1 FUNKCIÓSTRUKTÚRA

Az alábbi ábrán látható a versenyautó funkcióstruktúrája, amely a vázszerkezet összeállítását és igénybevételét tartalmazza.



17. ábra Funkcióstruktúra

Az energiahelyet során a külső terhelések hatására a váz egy merev testként információt kell, hogy továbbítson a futómű egyes részei között, ill. a pilóta és az autó között. Ezt úgy tekintettük, mintha a vonatkoztatási koordináta-rendszer a vázhoz lenne rögzítve, így tehát elhanyagolható a helyzeti és

mozgási energia változása, mivel a vázszerkezet fő funkciója a részegységek összekötése és összetartása. A fő igénybevétel tehát a terhelésekből adódó energia változása, melynek felvételére megfelelő merevséggel kell rendelkeznie, amit az alapanyagok egyesítésének terhelhetősége biztosít (Monocoque).

Az információ folyam fő részei a futóműelemek megfelelő tájolása és a bekötési pontok pontos megválasztásának irányelvei, a részegységek rögzítésének helyei, az ergonómiai szempontok és a megjelenési felület. A futómű érvényesüléséhez állítási lehetőségekre is szükség van, hiszen a járműdinamikai tulajdonságokat nagymértékben befolyásolja. A beállításoktól függően más-más terhelések ébrednek, melyek a vázat igénybe veszik. A legnagyobb terhelésekhez tartozó erőkre kell a vázat méretezni, hogy minden esetben el tudjuk érni a legkisebb kívánt merevséget.

IV.5 KÖRNYEZETFELTÁRÓ MÁTRIX

	Tulajdonságok és feltételek	a	Műszaki-fizikai		Emberi vonatkozású	
Életút szakaszok		b	Technológiai és működési	Fizikai és természettel kapcsolatos	Fizikai	Pszichikai
1	2	Nr.	1	2	3	4
Előállítás	Terméktervezés, -fejlesztés, -szerkesztés	1	Gyorsan, jól kifejlesztett termék	egyszerű működés, minimális hibalehetőség	Újszerű, prototípus darab	Magas képzettség szükséges, a legmagasabb szintű tervezési módszerek, know-how
	Gyártás-előkészítés, alkatrészgyártás	2	Könnyen gyártható, minimális hibalehetőség, vákuuminjektálás/prepreg/kézi laminálás	könnyen gyártható	Mérgezés a gyantától, sérülés a szénszáltól, éles sarkok vágnak	Tervező személyek gyártástechnológiai magas szintű ismerete
	Szerelés	3	Műhely eszközök + Flaar Boats + egyéb támogatók	könnyen szerelhető, óvatosan kell vele bánni, karcolásra figyelni kell	Könnyen szerelhető legyen	n/a
Elosztás	Szállítás	4	Támogató: 24H futárszolgálat. Citroen Berlingo, csapattagok autói, bkv, egyéb	alapanyag szállítás szárazjégben (pre-preg)	Relatív nagy méretű	Az érzékeny elemek jelölése
	Raktározás	5	Műhely, Flaar Boats, Polimertechnika tanszék	alapanyag öregedése	Kézzel rakodható	Képzetlen emberek figyelembe vétele, távoltartása, szervezőkészség fejlődése
	Forgalmazás	6	n/a	nem klímaérzékeny	Könnyebb, mint egy konkurens csöváz	Know-how fejlődése, csapat hírneve
Felhasználás	Üzemeltetés és üzemszünet	7	1 év várható élettartam	üzemi terhelések	n/a	Egyszerű kezelés, szép külalak
	Karbantartás	8	Műhely, Pit	Szerelés, szállítás	Jól szerelhetőség nagyon fontos alapkövetelmény	Karban tartási helyek jelölése, dokumentáció készítése hozzá
	Javítás	9	Nem cserélhető	karcolás, ütésre oda kell figyelni	Jól szerelhetőség nagyon fontos alapkövetelmény	n/a
Újrahasznosítás	Ismételt felhasználás	10	Cserezabatos alkatrészek	Újrahasznosítható	Ledarálva újrahasznosítható	Nem releváns

Gazdasági		Normatív		Egyéb
Költségvonatkozású	Szervezési és tervezési	Igazságügyi és társadalmi	Szabványok és előírások	Egyéb
5	6	7	8	9
Fejlesztési költség: Valóság: nincs, Ipari eset: nagyon magas	Fejlesztési idő figyelembevétele, célok figyelembevétele	Megoldási elveknek nincs jogvédelme, szabadalmak a beszállítóknál jogvédettek	FSAE rules 2013, 2014; FSG rules 2013, 2014; FSH rules 2013, 2014; FSA rules 2013, 2014, ISO, DIN, VDI	Down-sizing, tömegcsökkentés, elektromos hajtások előtérbe kerülése
Gyártási munkabér, anyag, gépköltség: Valóság: nincs, Ipari eset: nagyon magas	Gyártástechnológiai konzultációk szervezése	Gyártástechnológiáknak nincs jogvédelme, Know-How titok	FSAE rules 2013, 2014; FSG rules 2013, 2014; FSH rules 2013, 2014; FSA rules 2013, 2014, ISO, DIN, VDI	Alapanyag, gyártó keresése
Valóság: nincs, Ipari eset: nagyon magas Szerszámköltség: nagyon magas	Munkafolyamatok összeszervezése	Szerelési technológiáknak nincs jogvédelme	FSAE rules 2013, 2014; FSG rules 2013, 2014; FSH rules 2013, 2014; FSA rules 2013, 2014, ISO, DIN, VDI	Gyártó keresése
Szállítási költség	Szállítóeszköz kiválasztás	Biztosítás kötele megmondolandó	Kötőelem szabványok	Megoldható a csapat eszközeivel, támogatóival
Helyiköltség: nincs	Helye: műhely	Szabályokat kell rá kitalálni, betartatni	Nem releváns a szabvány alkalmazása ebben a pontban	Megoldható a csapat eszközeivel, támogatóival
Eladási ár: nincs	n/a	n/a	n/a	n/a
Üzemanyakköltség: csapattagok fizetik	Üzembehelyezési határidő	Munkavédelem, biztonsági előírások	FSAE rules 2013, 2014; FSG rules 2013, 2014; FSH rules 2013, 2014; FSA rules 2013, 2014, ISO, DIN, VDI	Konkurens termékek teljesítménye
Van, csapat fizeti	Tesztek, versenyek, megjelenések előtt, után	n/a	FSAE rules 2013, 2014; FSG rules 2013, 2014; FSH rules 2013, 2014; FSA rules 2013, 2014, ISO, DIN, VDI	Törekvés a karbantartásmentes állapot elérésre
Nincs javításra lehetőség	Nincs javításra lehetőség	Nincs javításra lehetőség	Nincs javításra lehetőség	Nincs javításra lehetőség
Újrahasznosítás költsége	Környezetvédelmi törvények	Környezetvédelmi törvények	Környezetvédelmi törvények	A járműtömegcsökkentés környezetbarát

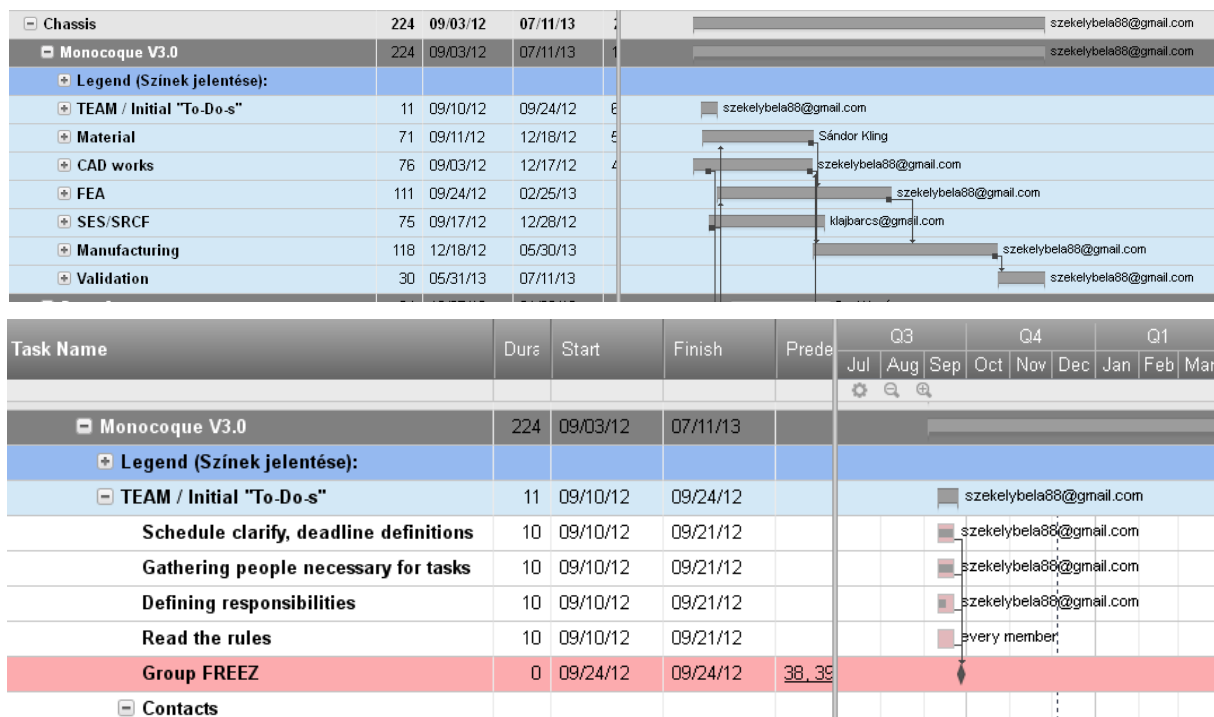
18. ábra Környezetfeltáró mátrix

IV.6 KÖLTSÉGTERV

A költségterv összeállításánál három árkategóriát állítottunk össze, attól függően a költségvetés hányad részét tudjuk támogatásból fedezni, és hányad részét készpénzből. A gyártás egyes szakaszaihoz tartozó költségeket az alábbi táblázatok tartalmazzák.

IV.7 IDŐTERV

A projekthez készítettünk egy hálótérket is, projekttervet is, ez az alábbi ábrákon látható. Itt az összegyűjtött feladatok szétosztása található:



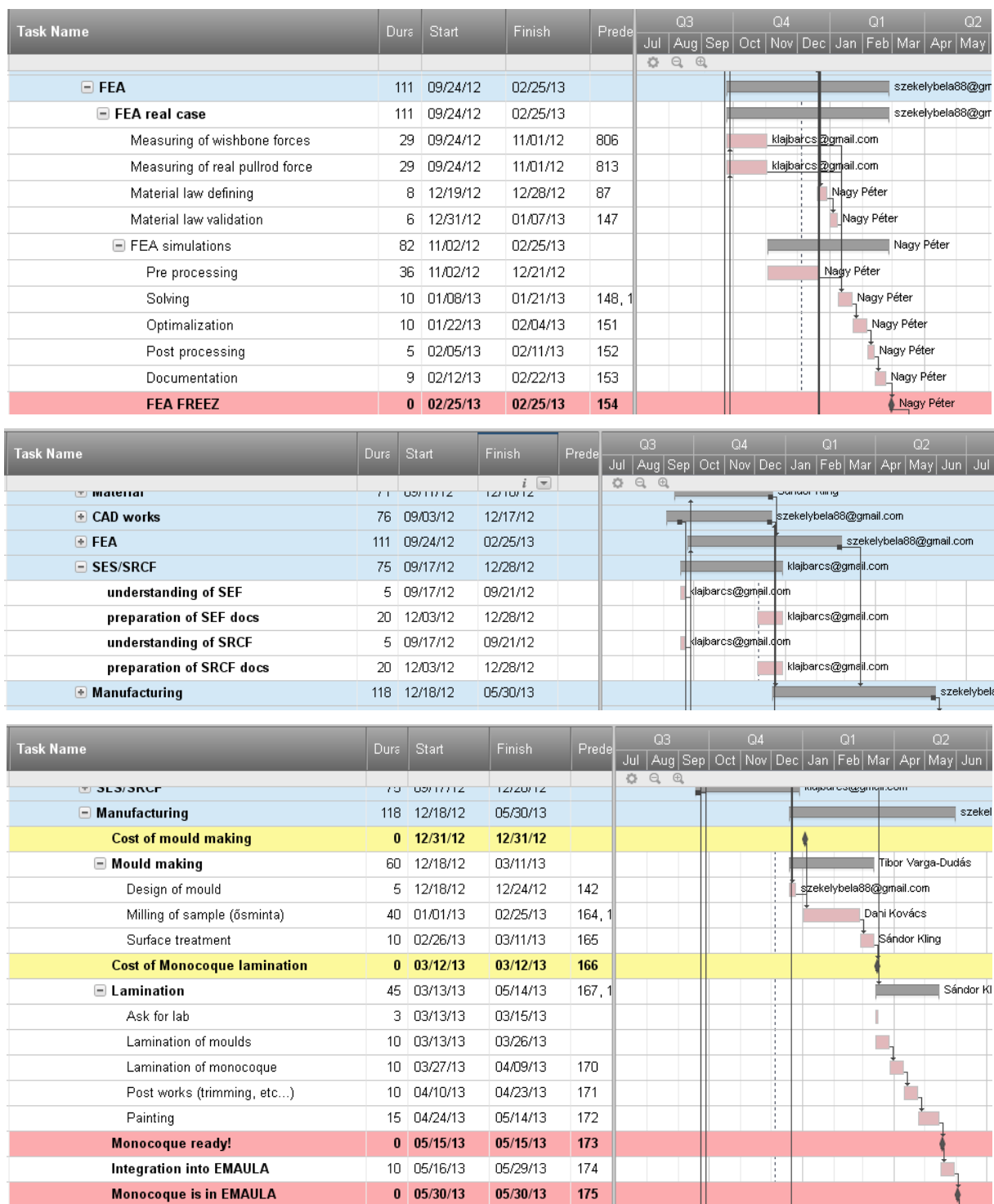
19. ábra Ütemezés I.

Task Name	Durs	Start	Finish	Prede	Q3			Q4			Q1			Q2		
					Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
TEAM / Initial "To-Do-s"	11	09/10/12	09/24/12													
Material	71	09/11/12	12/18/12													
"A" plan	71	09/11/12	12/18/12													
Material supply	29	09/12/12	10/22/12													
Collecting data form other teams	6	09/14/12	09/21/12													
Write material list	8	09/12/12	09/21/12													
Cost of Laminations	0	09/24/12	09/24/12	66, 67												
Material purchasing	20	09/25/12	10/22/12	68												
Lamination No 1 "probe lamination"	41	09/17/12	11/12/12													
Site - ask for lab	26	09/17/12	10/22/12													
Lamination Event	5	10/23/12	10/29/12	71												
Evaluation of Laminas	5	10/30/12	11/05/12	72												
Post Processing	5	11/06/12	11/12/12	73												
Lamination No 2 "pre-SES"	71	09/11/12	12/18/12													
Measuring chain	55	09/11/12	11/26/12													
Defining measuring team	9	09/11/12	09/21/12													
Defining measuring tasks	14	09/24/12	10/11/12	77, 15												
Designing extra devices for SES st	21	10/12/12	11/09/12	78												
Design freez of extra measuring de	0	11/12/12	11/12/12	79												
Manufacturing of devices	10	11/13/12	11/26/12	80												
Defining lamination team	5	11/06/12	11/12/12	73												
Defining ply order	5	11/13/12	11/19/12	82, 74												
Lamination Event	5	11/27/12	12/03/12	81, 74												
Evaluation of Laminas	5	12/04/12	12/10/12	84												
Post Processing	5	12/11/12	12/17/12	85												
Material Law FREEZ	0	12/18/12	12/18/12	86												
Lamination No 3 "SES"																
"B" Plan																
... measuring report																

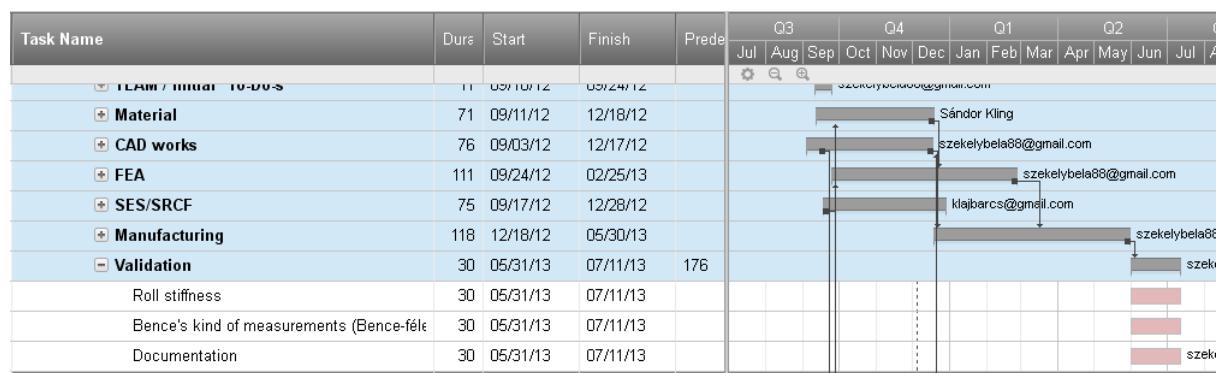
20. ábra Ütemezés II.

Task Name	Dura	Start	Finish	Prede	Q3					Q4		Q1			Q2	
					Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
CAD works	76	09/03/12	12/17/12													
Connecting parts	21	09/14/12	10/12/12													
Determine what needs to be remodell / i	7	09/14/12	09/24/12													
Gathering connecting parts	14	09/25/12	10/12/12													
Dissassembly of Emaula	5															
From Emaula	9	09/25/12	10/05/12	92												
From Suspension	9	09/25/12	10/05/12													
Reengineering of parts	14	09/25/12	10/12/12	92												
CAD modell building	76	09/03/12	12/17/12													
Defining layout level	14	09/03/12	09/20/12													
Layout FREEZE	0	09/18/12	09/18/12													
Skeleton - Connections to monocoque	34	09/19/12	11/05/12	100												
Measure Percy position	2	09/19/12	09/20/12													
Position of Percy in skeleton	2	09/19/12	09/20/12													
Helmet modelling		09/19/12														
Impact connection	34	09/19/12	11/05/12	100												
Main Hoop connection	34	09/19/12	11/05/12	100												
Cockpit skeleton modell	34	09/19/12	11/05/12	100												
Front Bulkhead and Steering column	34	09/19/12	11/05/12	100												
Dashboard	34	09/19/12	11/05/12	100												
Steering wheel position	34	09/19/12	11/05/12	100												
Brake adjuster	34	09/19/12	11/05/12	100												
Seat position	34	09/19/12	11/05/12	100												
Pilot position	34	09/19/12	11/05/12	100												
Pedalbox	34	09/19/12	11/05/12	100												
Brake lines	34	09/19/12	11/05/12													
Cable harness	34	09/19/12	11/05/12													
Safety belt	34	09/19/12	11/05/12	100												
Front suspension	9	09/19/12	10/01/12	100												
Wishbone axles	9	09/19/12	10/01/12	100												
Rocker position	9	09/19/12	10/01/12	100												
Stabilisator	9	09/19/12	10/01/12	100												
Spring and dampers	9	09/19/12	10/01/12	100												
Check rules	33	09/19/12	11/02/12	100												
Modellbe beillesztés	10	09/19/12	10/02/12	100												
Skeleton FREEZ	0	11/06/12	11/06/12	91, 10												
Style design 1	50	09/16/12	11/22/12													
Style design 2	50	09/16/12	11/22/12													
Model making (surface)	24	11/07/12	12/10/12	125												
Seat	24	11/07/12	12/10/12													
Floor	24	11/07/12	12/10/12													
Front bulkhead support area	24	11/07/12	12/10/12													
Side impact structure	24	11/07/12	12/10/12													
Side box	24	11/07/12	12/10/12													
Around front bulkhead	24	11/07/12	12/10/12													
Around steering wheel	24	11/07/12	12/10/12													
Around steering column	20	11/07/12	12/04/12													
Around front suspension	24	11/07/12	12/10/12													
Model finalization	4	12/11/12	12/14/12	128												
Collision check	4	12/11/12	12/14/12													
Expert's check	4	12/11/12	12/14/12													
Check by Gergő B.	4	12/11/12	12/14/12													
Design FREEZ	0	12/17/12	12/17/12	920, 1												

21. ábra Ütemezés III.



22. ábra Ütemezés IV.



23. ábra Ütemezés V.

Gyártás	Kereszt-metszet	Kerekített		Sarkos		Sokszög	
	Bekötés	Falvastagság		Elvékonyítás			
		Rétegvastagság	Ásztatított	Erősített maganyag	Maganyag		
	Oldalfal	Egyenes		Tört			
	Nyílások	Hátul kivágott		Hátul nyitott			
	Osztósík	Vízszintes		Függőleges			
Cockpit		Belaminált		Csavarozott			
		Rétegvastagság	Bordásított	Átszavarozott	Hozzácsavarozott		
	Ülés	Síldapos		Teknő			
	Övbekötés	Laminált		Hegesztett			
	Pedálbox	Lyukasztott		Nútos		Ricnis	
		Átszavarozott		Konzolos			
Futómű	Himba-tengely						
	Állítás	Többfűratos		Konzolcsérés			
	Stabilizátor, Rack	Belül		Kívül			
Ütköző elem							
	Impact	Peremes		Csavarozott			

24. ábra Megoldási elvek rajzai

IV.8 MEGOLDÁSI ELVEK

Elem	Feladat	Hibalehetőség	Hiba hatása	Hiba oka	E	S	Gy	RPN
Futómű-csavarok	Rögzít	Megszűnik a rögzítés	Leszakad a futómű, lehasal az autó, elrepülnek a kerekek, elszakad a fékvezeték, elrepül a féltengely, javíthatatlan károk a vázban	Rögzítő elem elszakadása	2	10	1	20
	Pozicionál	Rosszul pozicionál	Járműkarakterisztika nem lesz szimmetrikus, nem érhető el a tervezett üzemiállapot, járulékos erők keletkeznek, megnövekedett feszültségek, fáradás	Gyártási hiba, szerelési hiba	1	7	6	42
Övcsavarok	Rögzít, pozicionál	Fellazul az öv	Pilóta gyors irányváltásnál beütheti vállát, könyökét, fékezésnél a kormányt terheli, leszakadhat a kormány	Szerelési hiba	1	8	1	8
Pedál-csavarok	Rögzít	Megszűnik a rögzítés	A pedálok szabadon mozognak a cockpit-ben, a fékhatás és a gázadás megszűnik, az autó megáll, vagy kicsúszik	Rögzítő elem elszakadása	2	10	1	20
		Fellazul a rögzítés	A pedálok elkezdnek ketyogni, késik a fék és gázhatás	Szerelési-, méretezési hiba	1	8	5	40
	Pozicionál	Rosszul pozicionál	Nem lesz szimmetrikusan a pedálsor, vagy ferde lesz, ergonómiai problémák	Gyártási hiba	1	6	2	12
Himbató-csavarok	Rögzít	Megszűnik a rögzítés	Lehasal az autó, eltörhetnek a lengőkarok, féltengely elrepülhet, futóműelemek leválhatnak a mozgó autóról	Rögzítő elem elszakadása	1	10	1	10
	Pozicionál	Rosszul pozicionál	Járulékos erők és feszültségek, nem szimmetrikus járműkarakterisztika, nem tervezett üzemiállapotok	Gyártási hiba	1	8	2	16
Váz hátulja rögzítés	Rögzít	Megszűnik a rögzítés	A hajtáslánc leválik a pilótafülkétől és az első futóműtől	Rögzítő elem elszakadása	2	10	1	20
	Pozicionál	Rosszul pozicionál	Járulékos erők és feszültségek, nagyobb deformációk, fáradás	Gyártási hiba	1	7	2	14
Kormány-csavarok	Rögzít	Megszűnik a rögzítés	A pilóta kezében marad a kormány, leesik a fogasléc, irányíthatatlanná válik az autó	Rögzítő elem elszakadása	1	10	1	10
	Pozicionál	Rosszul pozicionál	Nincs kormányközép, nem szimmetrikus az elkormányzás, kormányzó rúd beleérhet a felnyibe	Szerelési hiba	1	9	1	9
Ülésrögzítés	Tart	Nagy deformáció	Merevség hiánya rontja az autó visszajelzéseit a pilótához	Gyártási-, méretezési hiba	2	7	2	28
		Törés	A pilóta mozogni tud a cockpit-ben	Rögzítő elem elszakadása	2	9	1	18
Padlólemez rögzítés	Rögzít	Megszűnik a rögzítés	Leszakad a padlólemez, megszűnik a hatása, az autó áthajt rajta, leszakíthat futómű és hűtőrendszer elemeket	Rögzítő elem elszakadása	1	9	1	9
	Pozicionál	Rosszul pozicionál	Egyetlen lesz a leszívó hatás, szivárog a levegő	Gyártási, szerelési hiba	1	5	4	20
Oldaldoboz rögzítés	Rögzít	Megszűnik a rögzítés	Leválik az oldaldoboz, leesik az autóról	Rögzítő elem elszakadása	1	9	1	9
	Pozicionál	Rosszul pozicionál	Esztétikai hibák, rések	Gyártási hiba	1	4	7	28
Ütköző elem rögzítése	Rögzít	Megszűnik a rögzítés	Az ütközési energia nem megfelelő módon és mértékben nyelődik el, javíthatatlan károsodást okoz a vázban ütközés esetén	Rögzítő elem elszakadása	1	9	1	9
	Pozicionál	Rosszul pozicionál	Az ütközési energia nem a megfelelő irányban és eloszlással továbbítódik a vázra	Gyártási-, tervezési hiba	2	8	2	32
Monocoque vázszerkezet	Terhelésre adott merevség biztosítása	Túlterhelés	Törés	Ütközés, szerelési hiba	2	10	1	20
			Szakadás		2	9	1	18
			Repedés		2	8	1	16
			Felületi sérülés		1	5	9	45
	Fáradás	Fáradás	Merevségvesztés, repedés	Méretezési-, szerelési hiba	4	8	2	64
			A karbonnal érintkező elektronikai elemek működésképtelenné válnak		1	8	2	16

IV.9 MONOCOQUE SZABÁLYZATI MEGKÖTÉSEK

A Formula Student versenysorozatra készült autók tervezéséhez minden évben kiadnak egy mindent átfogó szabályzatot, melyben megtalálható a tervezéshez szükséges összes megkötés és biztonsági előírás. Az idei, 2013-es szabályzat a 2012-es szabályzathoz képest a monocoque tervezéséhez szükséges alapadatokban nem változott. A következő fejezetekben csak a fontosabb megkötéseket mutatjuk be.

IV.9.1 MONOCOQUE KÖVETELMÉNYEI

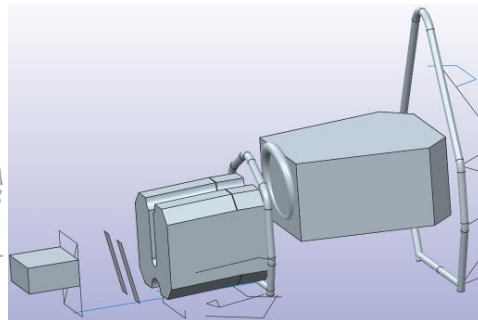
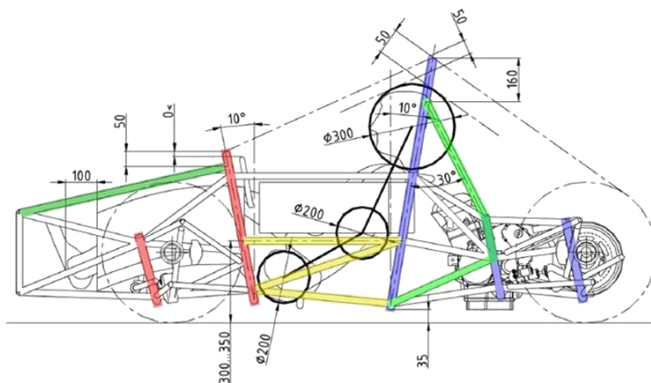
1. Megfelelés a szabályzatnak

- a. Sablonoknak való megfelelés: A 2.1-es fejezetben említett geometriai előírások legfontosabb eleme a Percy után az ún. térfogatsablonok, melyeket gépátvételnél ellenőriznek le. Két fajta sablon van:

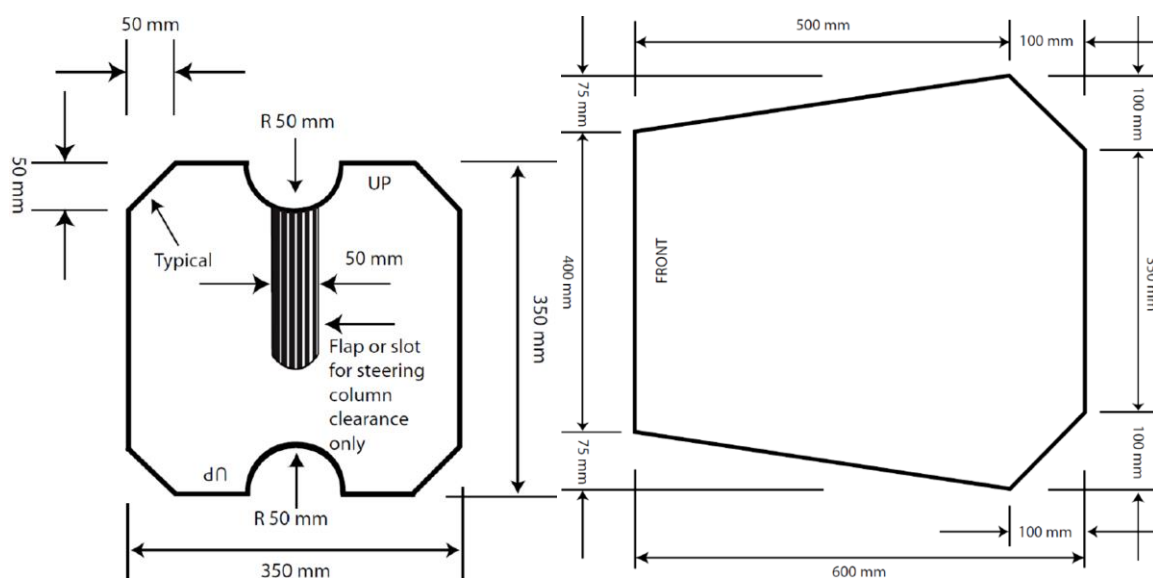
- Függőlegesen végigtolt ülkesablon
- Vízszintesen végigtolt lábtérsablon

A függőleges sablon ellenőrzésénél az ülés és a kormánykerék eltávolítható, az így megmaradt kormányrendszerhez legközelebb téve függőlegesen lefelé kell, hogy beférjen az autó ülésterébe és egészen a földtől mért 350 mm távolságig nem szabad, hogy semmibe beleütközzön.

A vízszintesen eltolható lábtérsablont az első bukókerettől (front hoop) kezdve tolják be a lábtérbe, majd a pedáltól számított 100 mm-re állítják meg. Eközben semmibe nem érhet bele, kivéve a kormányoszlop elemeit, melynek elkerülése érdekében egy kivágás található a sablon közepén. Ezt a sablon bármilyen vonal mentén el lehet tolni, megkötés, hogy a sablon síkja mindig függőleges maradjon.

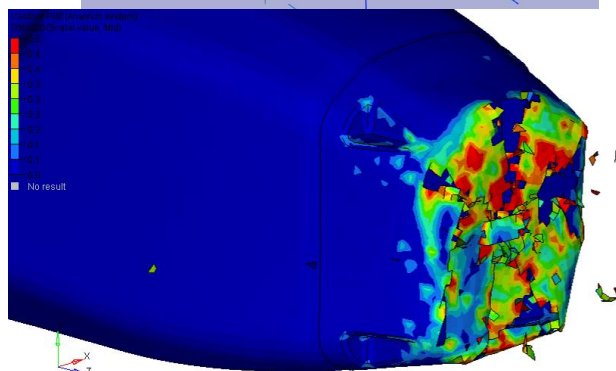
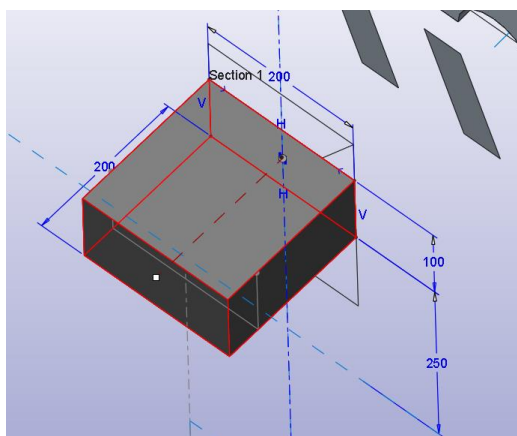


25. ábra Sablonok elhelyezkedése a monocoque-ban



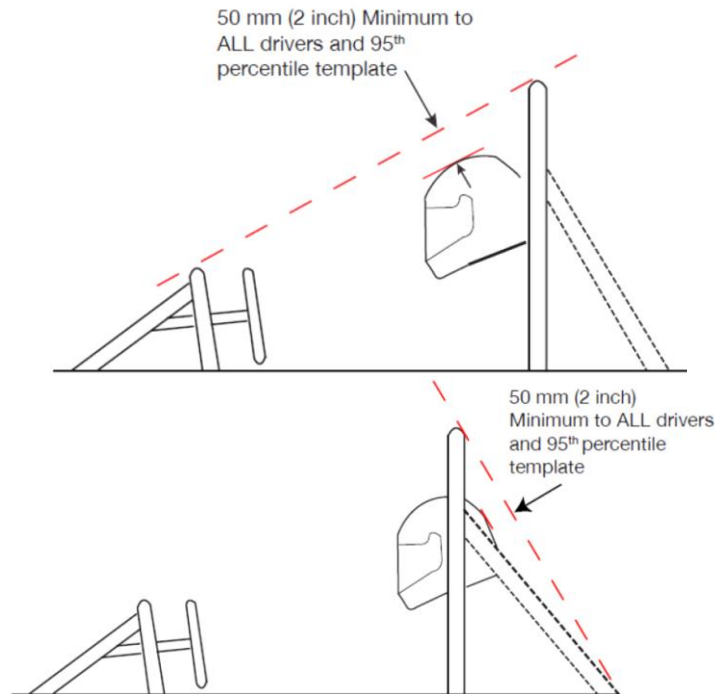
26. ábra Sablonok méretei

- b. Impact befoglaló méretei: A törési zóna minimális méretei az alábbi ábrán láthatóak. Erre vonatkozó előírásokra munkánkban most nem térnénk ki, mivel a törést elnyelő elem bármilyen anyagú és geometriájú lehet, feltéve, ha megfelel a minimális méreteknak, a versenyre való nevezésnél előírás ezeknek az elemeknek a validálása és dokumentálása.

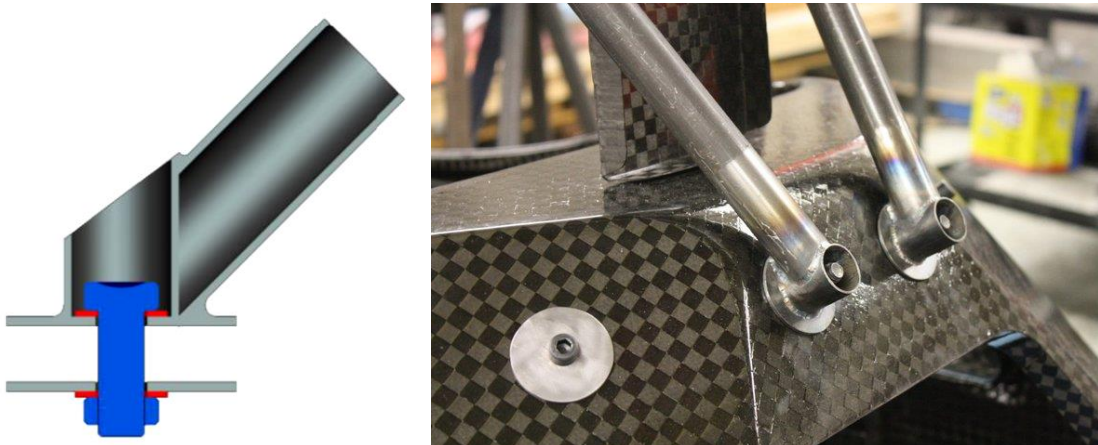


27. ábra Impact befoglaló méretei és deformációja

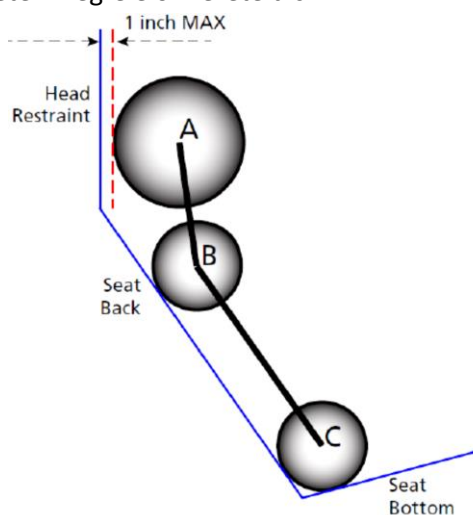
- c. Bukócsövek távolsága a sisaktól: A bukókeretek előírás szerint acélból készülhetnek, ill. 2011 óta lehet módosítani az anyagát, amennyiben az I-E(inercia és rugalmassági modulusz) értékük megegyezik a szabályzatban előírt acél tulajdonságaival. Előírás továbbá, hogy kizárólag zárd keresztmetszetű, varrat nélküli, folytonos hajlított cső lehet, melynek az autó legaljától a legtetejéig egy darabból kell lennie, tehát pl. nem hegeszthető vállmagasságban.

**28. ábra Bukócsövek és a sisak elhelyezkedése**

- d. A bukókereteket támasztó csövekre is vannak előírások, ezekből legfontosabb és legmeghatározóbb a fő bukókeretet (main hoop) támasztó segédcső (main hoop bracing). A monocoque esetében elő van írva, milyen módon csatlakozhat a segédcső a karbon vázhoz, melyet az alábbi ábra szemléltet.

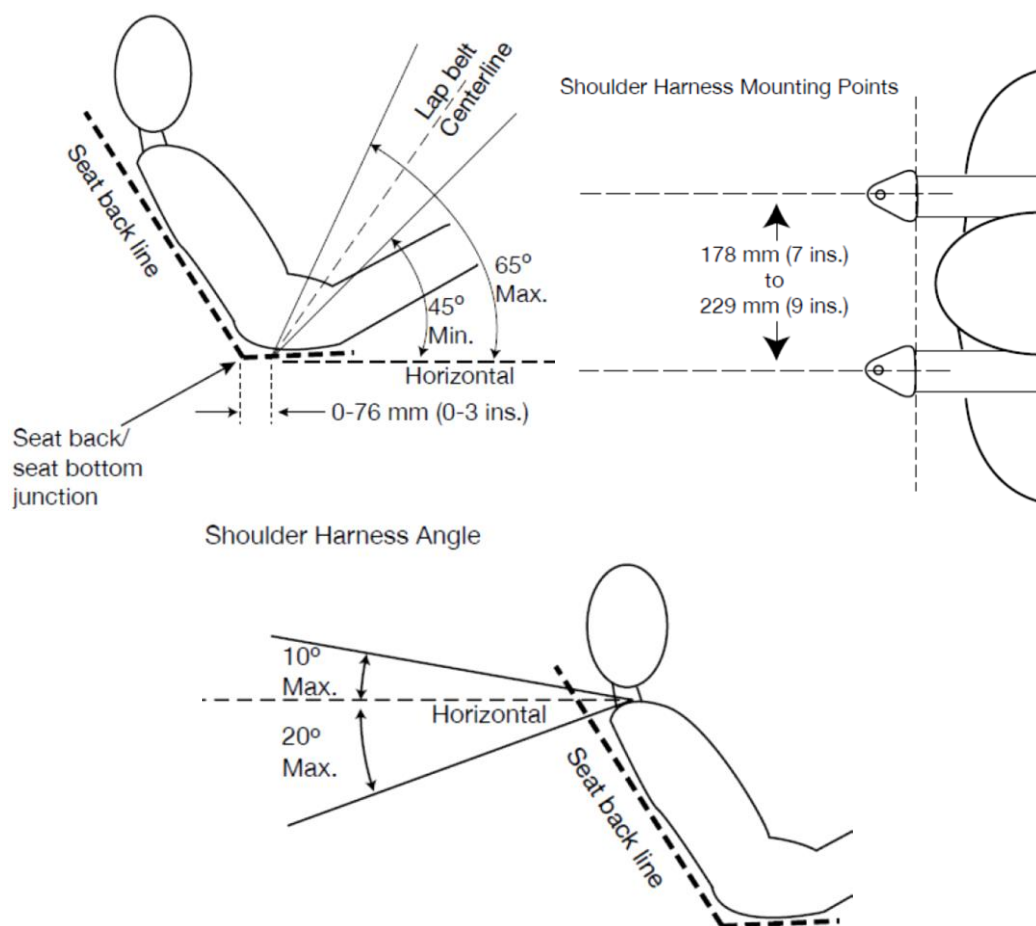
**29. ábra Bukókeret támasztó segédcső rögzítése**

- e. Percy beültetése: Az ülés kialakítások behatárolására és szintén ergonómiai vonatkozású előírás az ún. Percy, mely egy három körlepből álló egyszerűsített emberi törzs és fejmodell. Percy-t az ülésben helyezik el a fenti ábrán látható módon, ill. vele együtt ellenőrzik a bukókeretek megfelelő méreteit is.



30. ábra Percy, a pilótasablon

- f. Övbekötések: Az övek csatlakozási helyeinek és a becsatolt állapot bizonyos szögeire vonatkoznak előírások a szabályzatban, melyek fontosak a monocoque tervezése szempontjából. Az alábbi ábrákon láthatóak ezek a méretek és előírások.



31. ábra Övbekötések

2. Tömeg: vázrendszer elérni kívánt tömege <25 kg
3. Cockpit: jelenlegi kialakítás megtartása, javítása
4. Torziós merevség 2000 °/N

IV.10 VISSZAJELZÉSEK A PILÓTÁTÓL

A tervezéshez az eddigi autók terveit és tapasztalatait vettük alapul. A tesztelések során sok visszajelzés érkezett a pilótáinktól a helyzetüket, kényelmüket, érzetüket illetően. Ezeket pontokba foglaltuk össze, majd átgondoltuk újra a pilóta elhelyezését is.

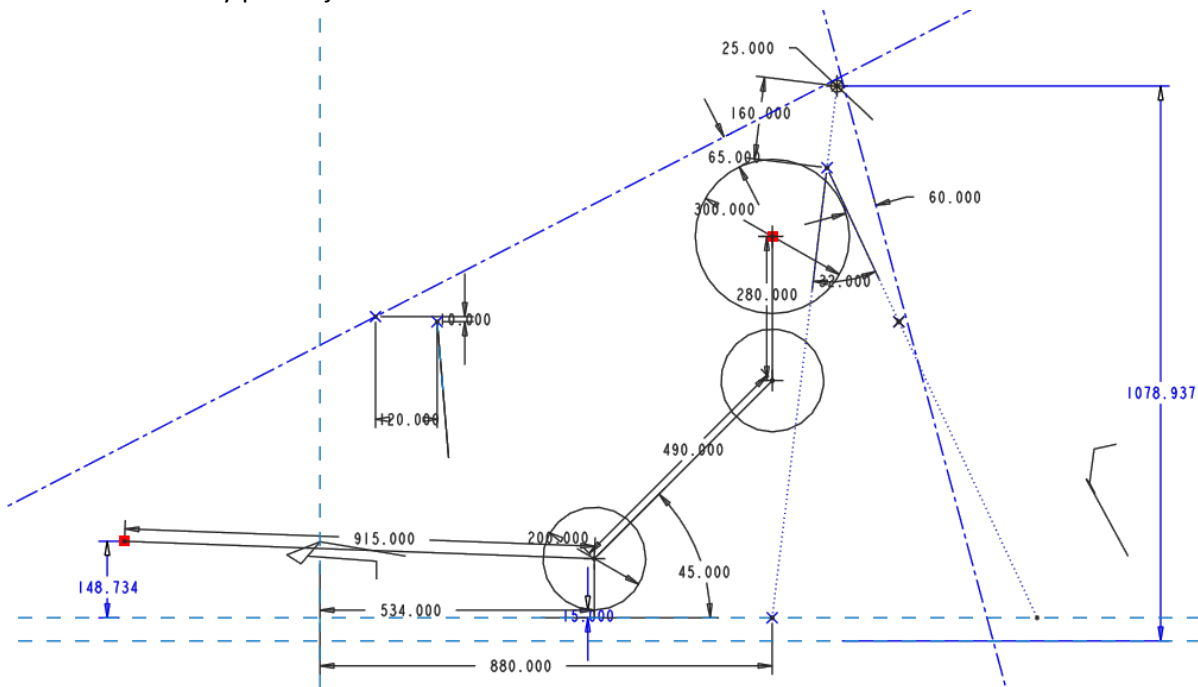
- **COCKPIT**
 - Hosszabb orr jó lehetne, nyújtottabb láb
 - Nagyon magasan van a térd, nehezen lehet elfordítani a kormányt
 - Állandóan beverődik a térd, térdvédő kellene, mint az F1-es autókban
 - Elég a hely a kezeknek a cockpit-ban, nem kell bővíteni a teret, nem kell kiszélesíteni ívesre oldalfalat
- Felsőtest-pozíció is rendben van
 - Ügyeljünk arra, hogy ne legyen túlságosan fekvős a testhelyzet
 - Fejpozíció nem jó, túlságosan előre dől a feje
 - Hát és kormánypozíció maradjon
 - Kilátás az autóból jó
- **PEDÁLBOX**
 - Belülről állítható pedalbox (Endurance pilótacsere)
 - A pedálok magassága jó
 - A lábszög túlmeredek-> túlságosan spiccelni kell a lábfejjel
 - Ne legyen homorú a pedálfelület-> zavaró
 - Sarokmegtámasztás jó, nem csúszkál
 - Jó, ha könnyen mozog a gázpedál, nem lesz zavaró a kicsi ellenállás elektromos autó esetén
 - Fékpedál erő jó
 - Kisebb úton mozgó gázpedál jó lenne
- **KORMÁNY**
 - Kormányszög jó, nagyobbat ne kelljen tekerni, ha egy picit kisebb, az sem baj
 - Jó lenne magasabban a kormány (ha lentebb van a térd, nem szükséges)
 - Állítható magasság és szög lenne a legjobb
 - A kormánykerék testtől való távolsága megfelelő
 - Kormánykerék fogása megfelelő
- **ÖVEK**
 - Ha meghúzza a vállöveket, sokat húzza a testét az ülésben is fölfelé
 - Középső övbekötés menjen előre, ne a fenék alatt legyen
 - Alacsony pilótát nem lehetett teljesen behúzni az oldalövekkel: a bekötési pontot lentebb rakni, vagy majd később az ülés habitot megfelelően kell kialakítani

IV.10.1 **MOCK-UP**

A hibák kijavítására egy egyszerűsített mock-up-ot készítettünk el, melyre felvittük az eddigi elrendezés fő méreteit és kisebb-nagyobb módosításokkal megvizsgáltuk milyen hatással lennének a pilóták kényelmére. A beállításokat három különböző magasságú emberekkel próbáltuk ki: 167, 173, 190 cm.

A megkötéseink a következők voltak:

- Kiindulási alap a 2012-es benzines versenyautó méretei
 - Hátszög
 - Vállszög
 - Kormánymagasság
 - Percy pozíciója



32. ábra Mock-up

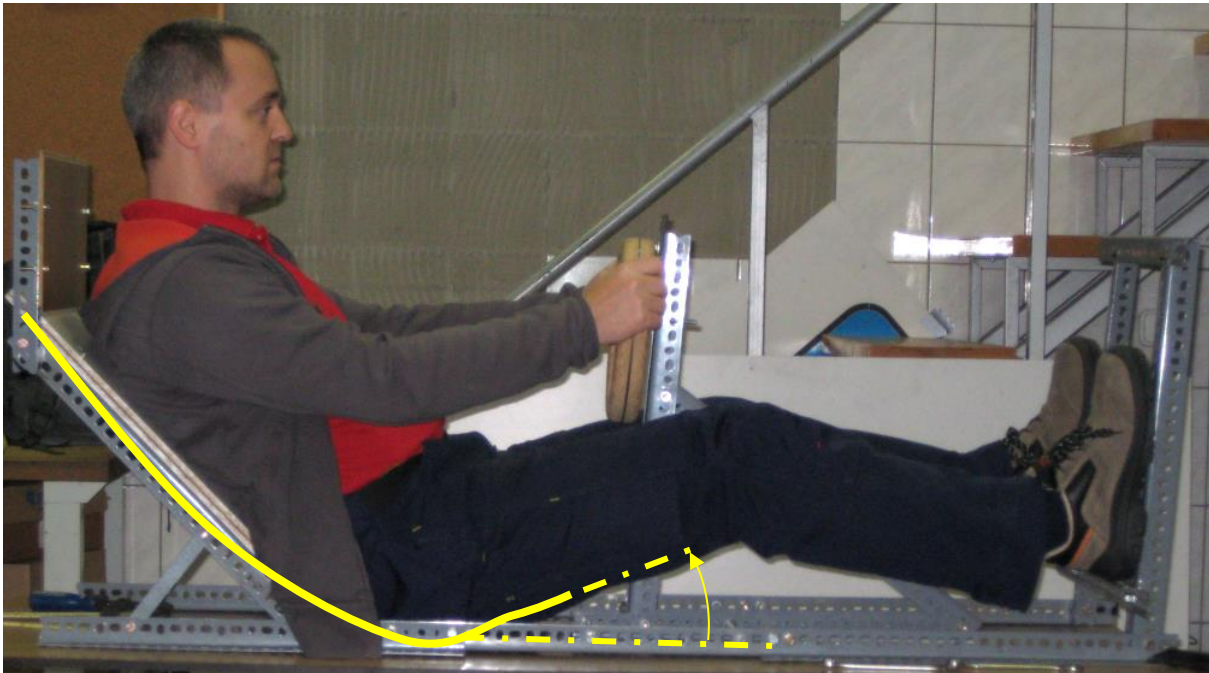
- Amin javítani szeretnénk, ill. amit vizsgálunk:
 - Sarokmagasság
 - Fenéktámaszték
 - Kormányszög
 - Lábfejszög
 - Pedáltávolságok

A végleges kialakítást és beállításokat az alábbi ábrán láthatjuk.

IV.10.2 **MOCK-UP TAPASZTALATAINK**

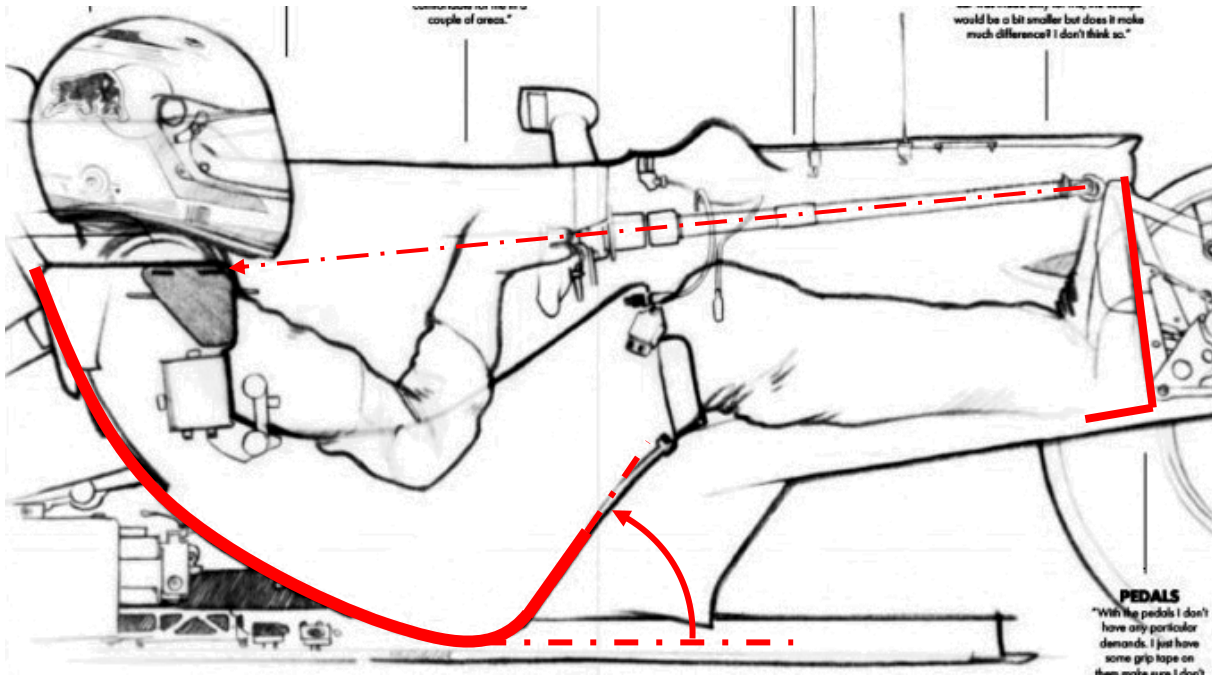
A beállítások során többféle változatot kipróbáltunk, soknál eltértünk a megkötésektől is, ill. megvizsgáltuk a versenysportban alkalmazott megoldásokat is.

- Hátszög: a különböző magasságú emberek esetén is van egy ergonomiai határ, ami alatt a nyak már kényelmetlen pozícióba kerül, és alaphelyzetben megtámasztást igényel, hogy a nyakizom ne feszüljön állandóan lefelé. Ez a határszög kb. 30° körül van. Esetünkben a hátszög 45° -ra van beállítva, így nem zavaró nyakszög.
- Kormányzög: a kormányzögnél egyértelmű törvényszerűséget tapasztaltunk, hogy akkor a legkényelmesebb a kormányzás és a kormány fogása, ha a kormánytengely oldalnézetből kb. a váll és a nyak határa
- Fenéktámasz: A fenéktámasz kialakításánál két méretet vizsgáltunk, az egyik a támasz hossza, másik a támasz szöge. A különböző pozíciók vizsgálásánál egyértelműen és egyhangúan tapasztaltuk, hogy mivel a hátszög pozíciója viszonylag hátradöntött, ezért ülés és mocorgás közben (ami vezetéskor sokkal intenzívebb) folyamatosan csúszik előre a pilóta, ha nem fogja meg a fenéktámasz. A támasz szöge attól függ, milyen pozícióban helyezkedik el a comb szöge a talajhoz képest, amit a sarokmagasság és a pedáltávolság határoz meg. Ebből a következőket vonhatjuk le:
 - Nyújtott láb, alacsony sarokmagasság: a comb a talajjal kis szöget zár be, a fenéktámasz nehezen tud érvényesülni, kényelem rovására meg, hogy a pilóta előre tud kicsit csúszni az ülésben. A hosszadni irányban ezen kívül fontos szerep jut a saroktámasznak is, mivel azzal tudja megakadályozni az előrecsúszást. Vezetés közben azonban kényelmetlenséget okozhat



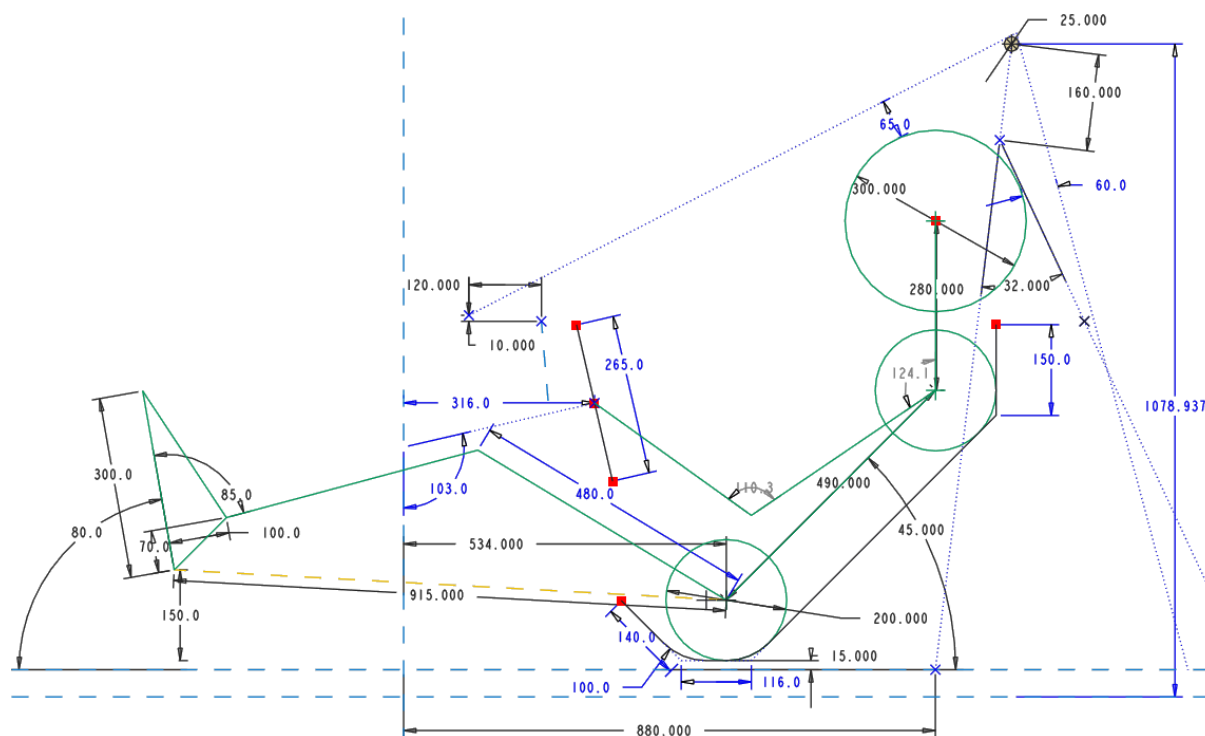
33. ábra Teszt a mock-uphoz

- Nagy sarokmagasság, behajlított láb: Forma 1-ben terjedt el, főként aerodinamikai okok miatt, a pilóta teljesen bele van mélyedve az ülésbe.



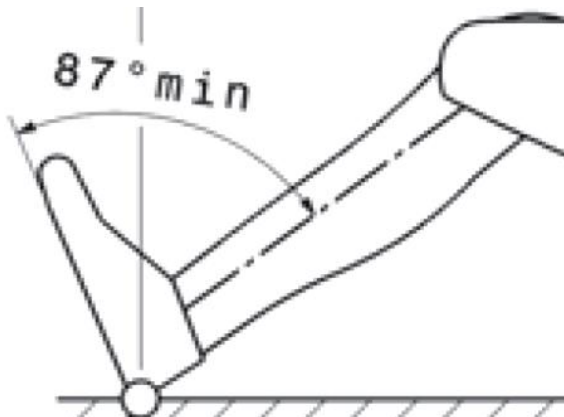
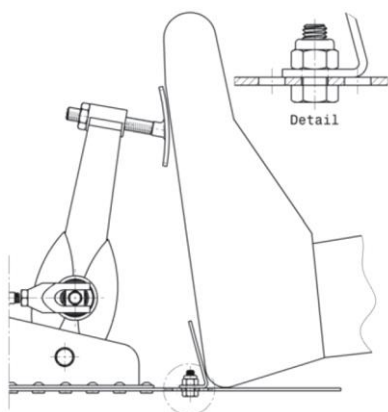
34. ábra F1 ülések

- Sarokmagasság: A második forma sokkal kényelmesebbnek tűnik a beállítások alapján, azonban esetünkben az aerodinamikának kevésbé fontos a szerepe, mint a súlypont magasságának, melyet csökkenteni lehet azzal, hogy lentebb helyezzük a sarkat, ezért, a kettő közötti sarokmagasság beállításával állítottunk be egy kényelmes pozíciót, így az ülés alsó síkjához képest 150 mm-re helyeztük el a sarkat, az előírt távolságban (915 mm).



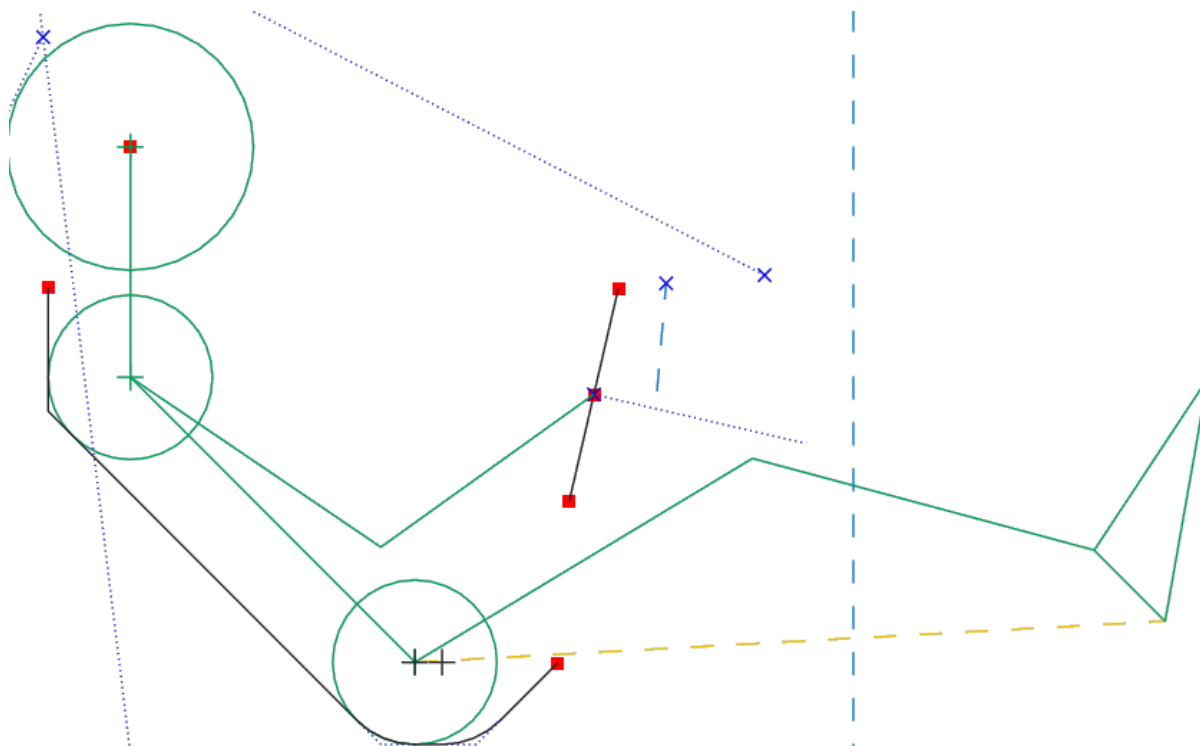
35. ábra Sarokmagasság

- Talp-szög: mérésekor és kipróbálásakor egyértelműen kiderült, hogy a leg kényelmesebb állapot, ha a sípcsont és a talp képzeletbeli egyenese merőleges egymásra



36. ábra Talp-szög

A végleges kialakítás tehát a következő képen látható, ill. a három különböző magasságú pilóta esetén a valós képek.



37. ábra A mock-up végleges kialakítása





38. ábra Különböző méretű pilóták a mock-upban

IV.11 GEOMETRIAI KIALAKÍTÁSOK

Az alapkoncepcióból, miszerint olyan monocoque tervezése a cél, melyet akár több évadon keresztül is használni tudunk, további tervezési irányt határoz meg. A csapat évről évre fejleszt valamit szinte minden részegységen, ezért alapvető követelmény, hogy többek közt a karbon vázon kívül levő alkatrészeket legyen lehetőség továbbfejleszteni, anélkül, hogy új monocoque gyártását követelné meg. Ez leginkább a futóműre igaz, ahol nagyon finom változtatásokkal egyre többet lehet fejleszteni az autó menetdinamikai tulajdonságain.

Ahhoz, hogy a futóművet lehetőség szerint lehessen továbbfejleszteni anélkül, hogy új monocoque szerszámot kelljen gyártani az szükséges, hogy a váz a lehető legszorosabban illeszkedjen a szabályzatban előírt sablonokra, ill. megkötésekre, ugyanis így a vázon belül már biztosan nem lehet elhelyezni futómű elemet, ugyanakkor a monocoque-ra szerelt különböző távtartó konzolok felrögzítésével gyakorlatilag bármilyen geometriájú futómű tervezhető és felszerelhető, amelyet a vázra vonatkozó előírások mellett meg lehet valósítani.

Az alábbi ábrákon látható, hogy pl. a lengőkarok csuklópontjainak távtartói akár egészen messzire kinyúlhatnak a monocoque falától, mellyel pl. a kerékdőlés gyorsaságának változását lehet finoman szabályozni a berugózás függvényében.

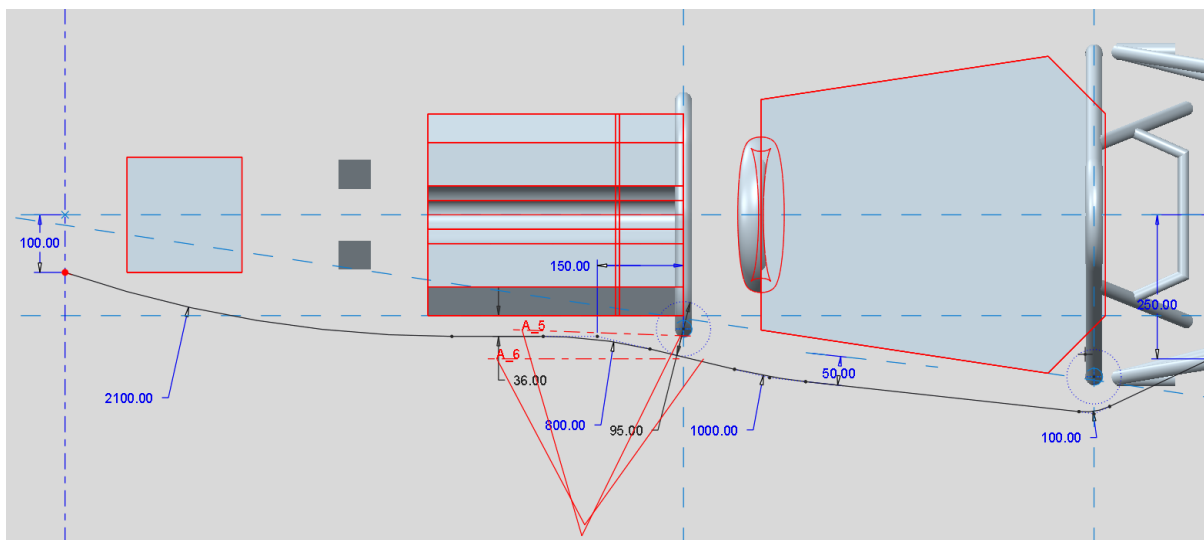


39. ábra Lengőkar csuklópontok lehetséges elhelyezkedése monocoque vázszerkezet esetén

IV.11.1 OSZTÓSÍK KERESZTMETSZET

Az osztósíkot a talajtól mérve 315 mm magasságban vettük fel, így kb. azonos mélységű lesz mindkét szerszám fél, ill. a futómű elemei csak az alsó félre csatlakoznak.

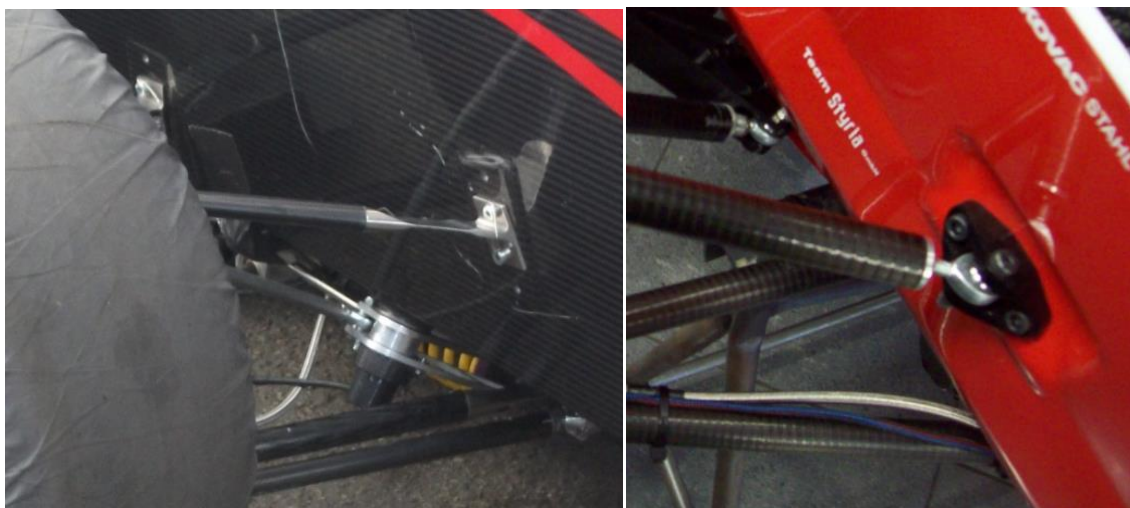
A pirossal jelölt kontúrok jelzik a sablonok helyét. A szerkesztéseknél a monocoque külső felületének megszerkesztéséből indultunk ki. A sablonok megközelítéséhez legnagyobb problémát a bukócsövek megléte okozza, melyeket minden esetben ki kell kerülni, hiszen belülről rögzülnek a monocoque falához, ezért az osztósík vonalát különböző módon lehet függőleges sablon mellől átvezetni a lábtérsablonig, melyeket a IV.11.1.2 és a IV.11.1.3 fejezetekben mutatunk be.



40. ábra Osztósík elhelyezkedése a sablonokhoz képest

Az osztósíknál figyelembe vettük, hogy a futómű becsatlakozási felületek lehetőleg síkok legyenek, mivel sík csak felületre tudnak csatlakozni a futómű tartó konzolok. A vízszintes osztósík használata megköveteli, hogy ebben a síkban ne legyen alámetszéses az alkatrész, ill. mindenhol legyen 3-5° oldalferdeség. Az oldalferdeséget tehát az osztósík alatt és felett egy 3°-ban kihúzott egyenes keresztmetszetű felület adja.

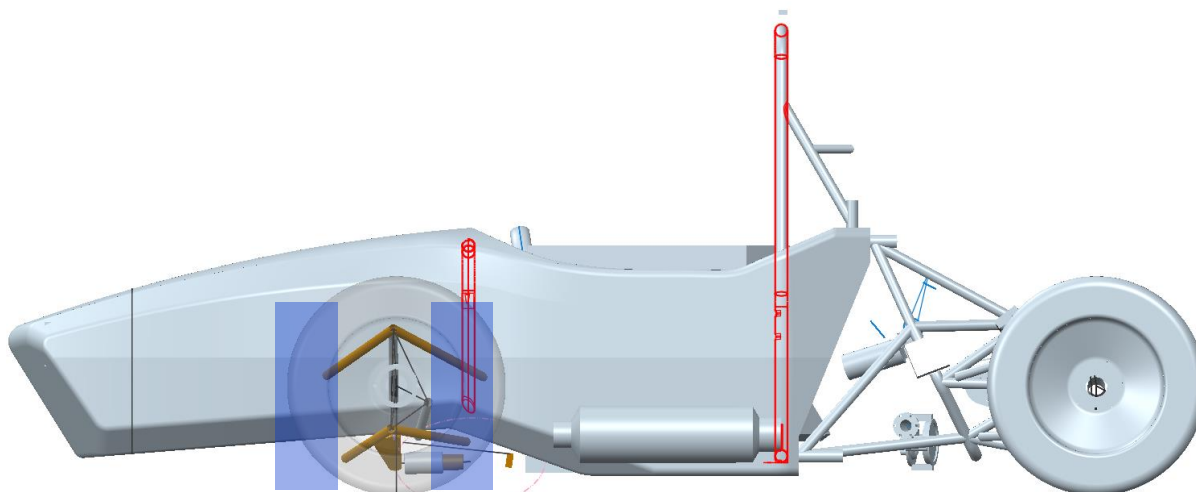
Több csapat használ egyenes keresztmetszet helyett íves keresztmetszetet, de mivel az íves felület esetében külön kis sík szigeteket kell kiképezni a monocoque oldalfalára a futómű konzolok miatt, ezért ezt a megoldást elvetettük.



41. ábra Futómű-bekötések íves keresztmetszet esetén

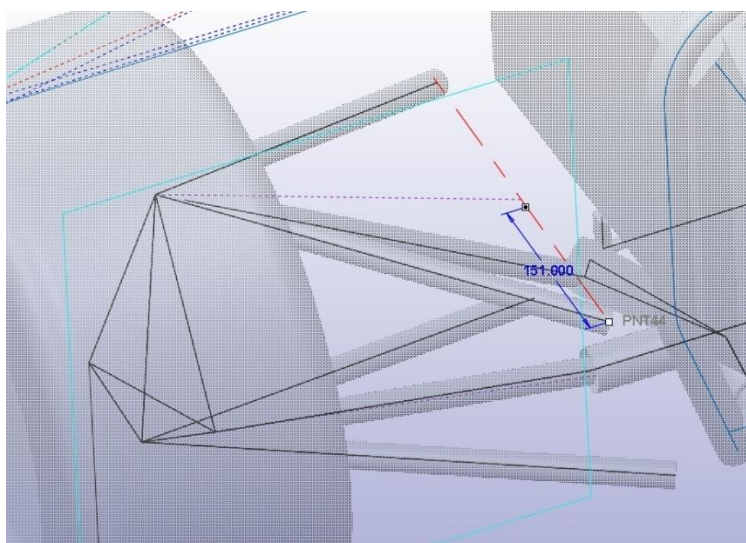
IV.11.1.1 ZÓNÁK

Az tervezési hozzáállás miatt, hogy akár többfajta futómű is felszerelhető, ill. tervezhető legyen az adott monocoque-hoz külön zónát alakítottunk ki a csatlakoztatási felületeknek. A zóna jelentése, hogy azon a részen a monocoque fala kizárólag sík lehet, a konzolok változó elhelyezkedése miatt. Az alábbi ábrán kék átlátszó csíkkal látható, hogy mekkora az a zóna, ahol a futómű konzolok felfekvő felülete elhelyezkedhet.



42. ábra A futómű konzolok lehetséges helye (kékkel)

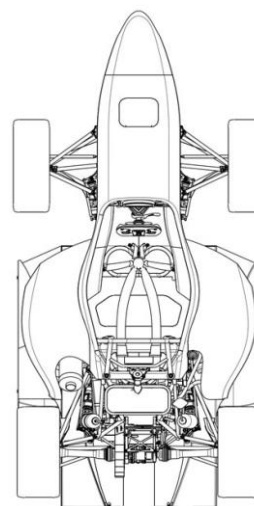
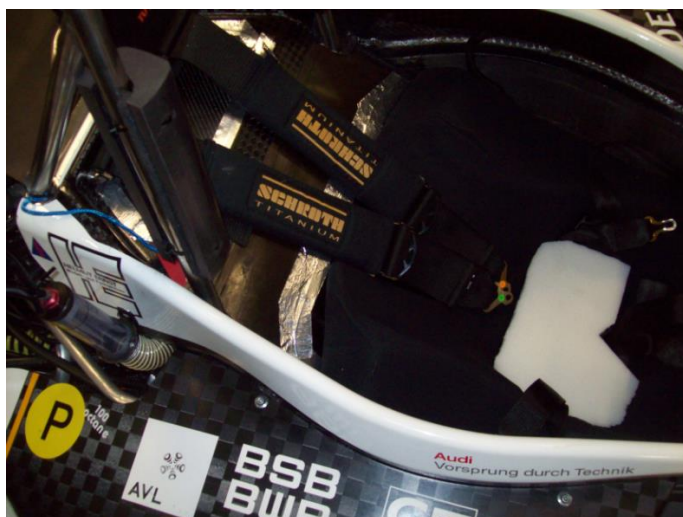
Eddigi tervezéseink során rengeteg problémát jelentett a lengőkarok bekötési helyeinek meghatározása a forgástengely mentén, mivel a csőváznál mindig csomópont közelében kellett lenniük, azonban a bekötési zónák létrehozásával sokkal szabadabbá vált tervezés.



43. ábra Futómű bekötési pontok tervezése

IV.11.1.2 ÍVES OLDALFAL

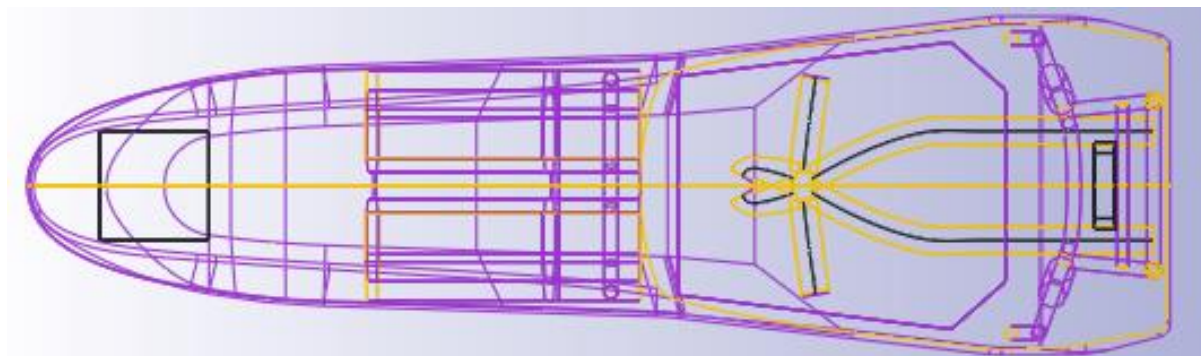
Az osztósík keresztmetszetének pilóta körüli részénél két fajta megoldást alkalmaznak más csapatok. Ezek közül egyik az íves oldalfal, mellyel kényelmesebbé lehet tenni a könyök környezetét, azonban jelentős mértékben növeli a monocoque felületét, amely tömegnövekedéshez vezet. Tapasztalataink szerint a könyök környezetével nem volt sok gondjuk a pilótáinknak, ezért a térfogatok és a felületek minimalizálása érdekében a sablonhoz lehető legközelebb rajzoltuk meg a kontúrt.



44. ábra Példa íves oldalfal kialakításra

IV.11.1.3 EGYENES OLDALFAL

Az egyenes oldalfalat több okból kifolyólag is érdemes használni: síkfelületek találhatók rajta, amely megkönnyíti a felületre csatlakozó elemek kialakítását és rögzítését. Az alábbi ábrán látható a végleges kialakítás egyenes oldalfala.



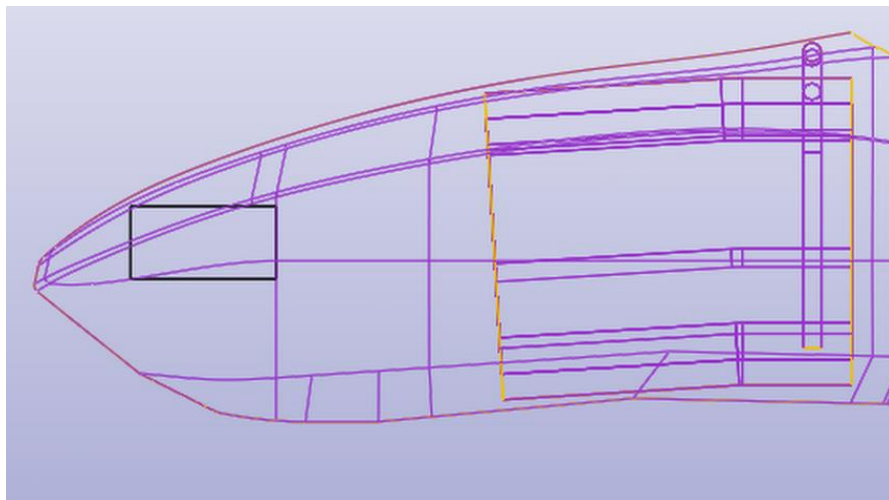
45. ábra A végleges koncepció egyenes oldalfal-kialakítása

IV.11.2 LÁBTÉR

A lábtér határozza meg az autó orrának magasságát, hiszen a sarok elhelyezése határozza meg a sablon elhelyezkedését, ami köré épül a lábtér.

Az elrendezések tanulmányozása során kiderült, hogy a lábtér első bukókeret körüli részét egyértelműen behatárolja a kormány és a kormánykonzol elhelyezkedése. Mivel esetünkben ez adott, ezért a 2011-es autó kormánypozíciójából indultunk ki.

A kormány kialakítására vonatkozik egy olyan szabály, miszerint a kormánykerék semmilyen állapotban nem lóghat túl vízszintesen az első bukókeret tetejétől. Ebből következik, hogy ettől a ponttól lefelé kell számítani a monocoque falvastagságát, majd a bukókeret vastagságát és aztán jön a sablon magassága. Ez az a nagyság, amitől egyértelműen nem lehet kisebb a lábtér keresztmetszete a bukókeretnél.



46. ábra Lábtér

Az ez után következő szakaszban a lehető legjobban megközelítettük felülről a sablont. Az alsó résznél több változat választható. Forma 1-ben az aerodinamika miatt az orrát nagyon megemelik, így a lába egy magasságban van a pilóta vállával. Esetünkben ez közel vízszintes sablonvezetést jelent. Mivel az aero szempontokat a tervezésnél kis súlyban vettük számításba, ezért ezt a megoldást elvetettük.

Egy másik szintén alkalmazott megoldás, hogy a sablont ettől a ponttól kezdve a lehető legalacsonyabban vezetik, amely már a futómű kialakításába meghatározóan beleszól, így egy olyan megoldást választottunk, amely a kettőt összeköti, azaz egy folyamatosan lefelé lejtő alsó részt eredményezett. Így a pilóta sarka az autó orrának végén alacsonyan helyezkedik el, ami a súlypontot

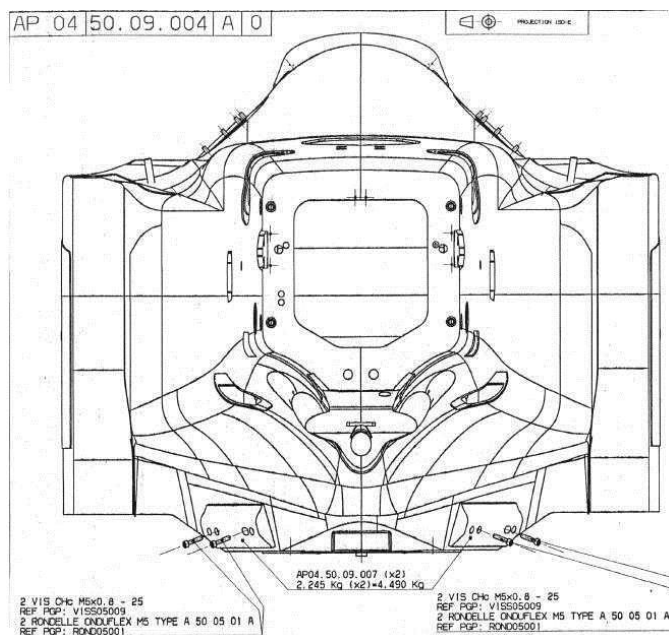
javítja. Az orr végének legalacsonyabb pontját a maximális első berugózás és –hátsó kirugózás határozza meg, ill. a szabályzatban előírt emelő felszerelésével szerkeszthetünk ki. Ez az emelő előírt magasságba emeli a hátsó kerekeket, minek következtében az autó orra ha nem elég magas talajt ér és nem felel meg a gépátvételen.



47. ábra Példa a járműorr kialakítására

IV.11.2.1 HASÁB KERESZTMETSZET

A lábtér kialakításánál következő szempont a keresztmetszet meghatározása volt. Leegyszerűsítve két típus terjed el, melyből az egyik a lekerekített hasáb keresztmetszet. Ennek a megoldásnak egyik képviselői láthatóak az alábbi ábrákon.



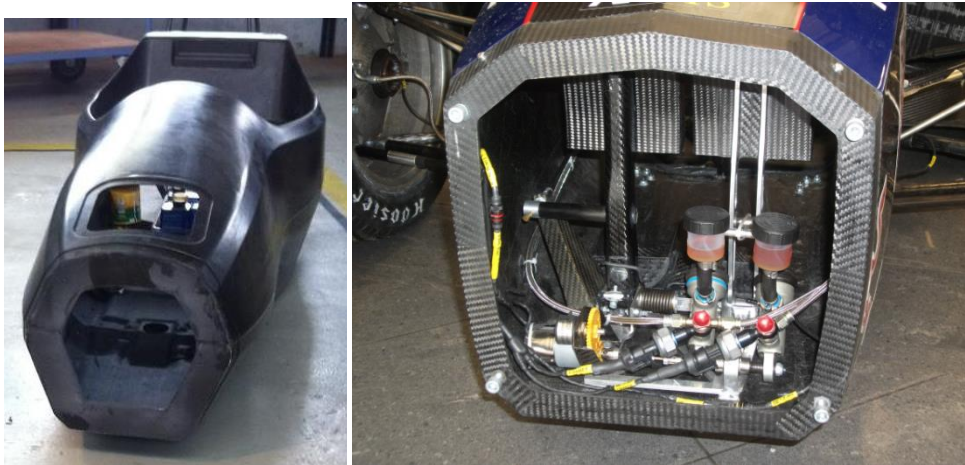
48. ábra Példa hasáb keresztmetszetre

A lekerekítés választása esetén a maganyag miatt leginkább a nagyon nagy lekerekítést tanácsos használni, amelyet még a tervezés elején kikötöttünk, hogy nem használunk, így a sokszög keresztmetszetű megoldást dolgoztuk ki.

A lekerekítések további „hátránya”, hogy sokkal nagyobb felületűek, mint ugyanezen az élen egyenes letörés. A felület csökkentésével további tömegeket lehet megspórolni.

IV.11.2.2 SOKSZÖG KERESZTMETSZET

Ezt a megoldást leggyakrabban azok a csapatok alkalmazzák, akik egybe laminálják a monocoque-ot, azaz a szerszámok össze vannak csavarozva laminálás alatt, nem történik utólagos összeragasztás. A nagyobb szög a könnyebb szétszerelést segíti elő.



49. ábra Példa sokszög keresztmetszetre

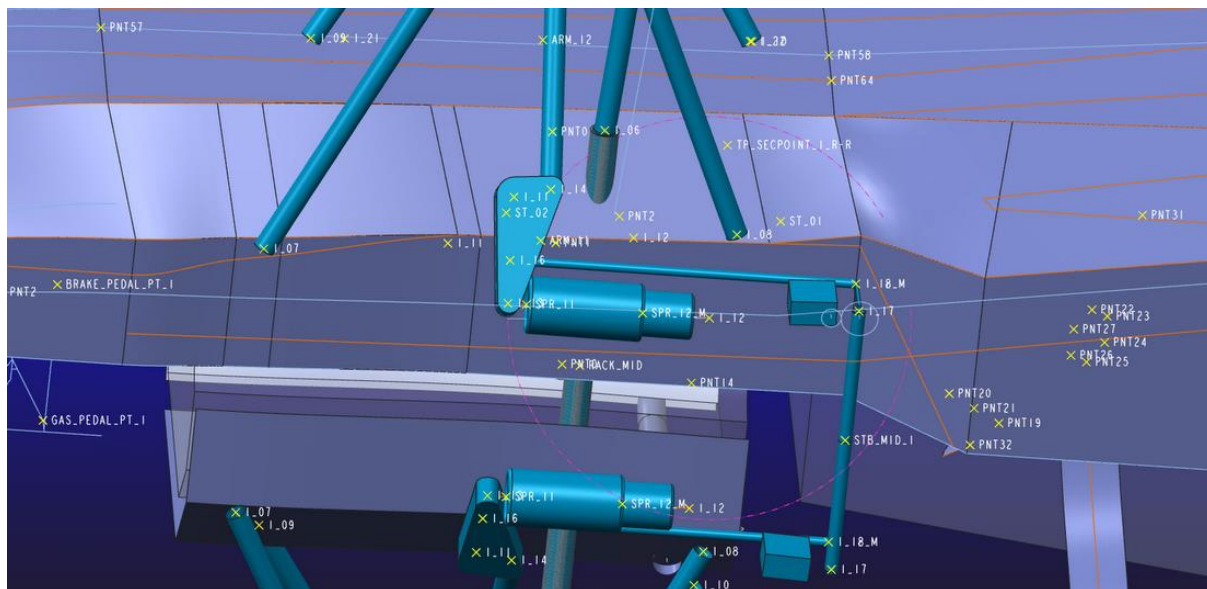
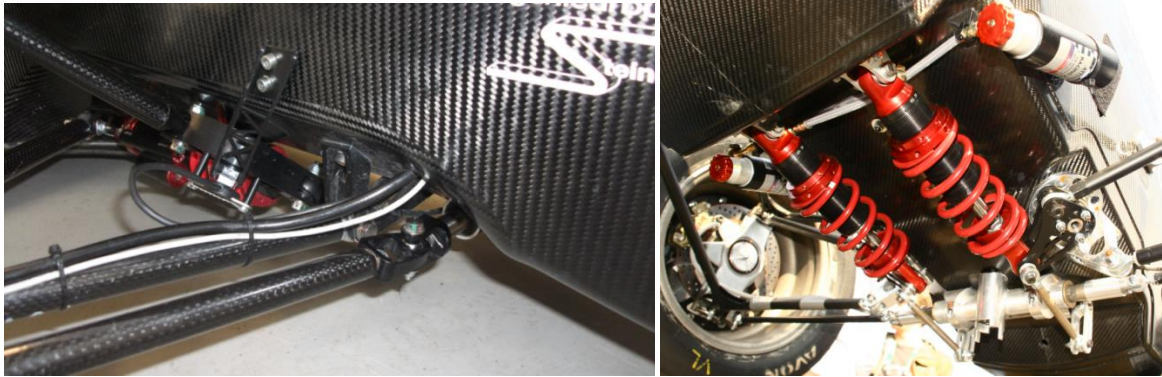
IV.11.3 FUTÓMŰPANEL

A futóműpanel alatt azt a részét értjük az autónak, ahol a rugóstagok, a stabilizátorok és a kormánymű helyezkedik el, ill. ezeknek a bekötései, csatlakozásai a monocoque-hoz. Esetünkben ez az autó orra alatt helyezkedik el (pullrod-os futómű), azonban léteznek más megoldások is.

A futóműpanel kialakításoknak is több fajtája ismert, mivel az autó járműdinamikai tulajdonságait ezeknek az elemeknek az elhelyezkedése nem befolyásolja annyira, legfontosabb szempont, hogy hibaszerkezet áttétele megfeleljen a rugó teljes úthosszának kihasználásához.

IV.11.3.1 ALSÓ FUTÓMŰPANEL

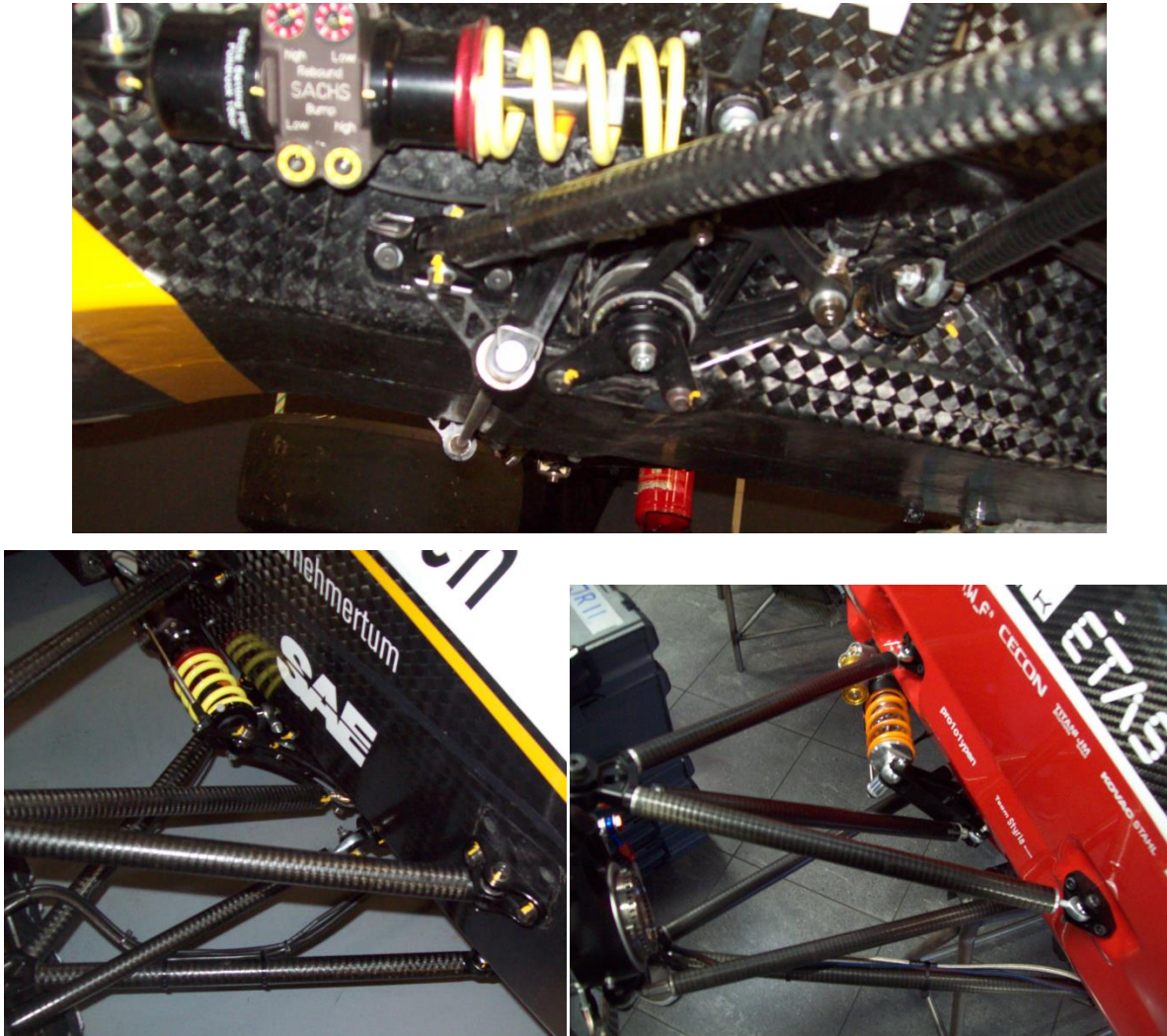
Az alsó futóműpanel esetében a rugóstagok közvetlenül egymás mellett helyezkednek el és az őket mozgató himbák egy ferde kivágással párhuzamosan állnak. A 2011-es autó rugóstagjai ehhez hasonlóan helyezkedtek el a vázban, ill. ez a megoldás sokkal kompaktabb, mint az oldalsó megoldás, ezért maradtunk ennél a koncepciónál. A himba csatlakoztatásának tehát egy ferde sík lett kialakítva a monocoque-nak ezen a részén.



50. ábra Alsó futómű panel kialakítások

IV.11.3.2 OLDALSÓ FUTÓMŰPANEL

Az oldalsó futóműpanelnél a rugóstagok a monocoque oldalfalán helyezkednek el. Ez lehetővé teszi, hogy a sablon még lentebb haladhasson el, ill. könnyebb hozzáférhetőséget biztosít a rugóstagokhoz. Ez a megoldás az alacsony orrú koncepciók esetében előnyös.



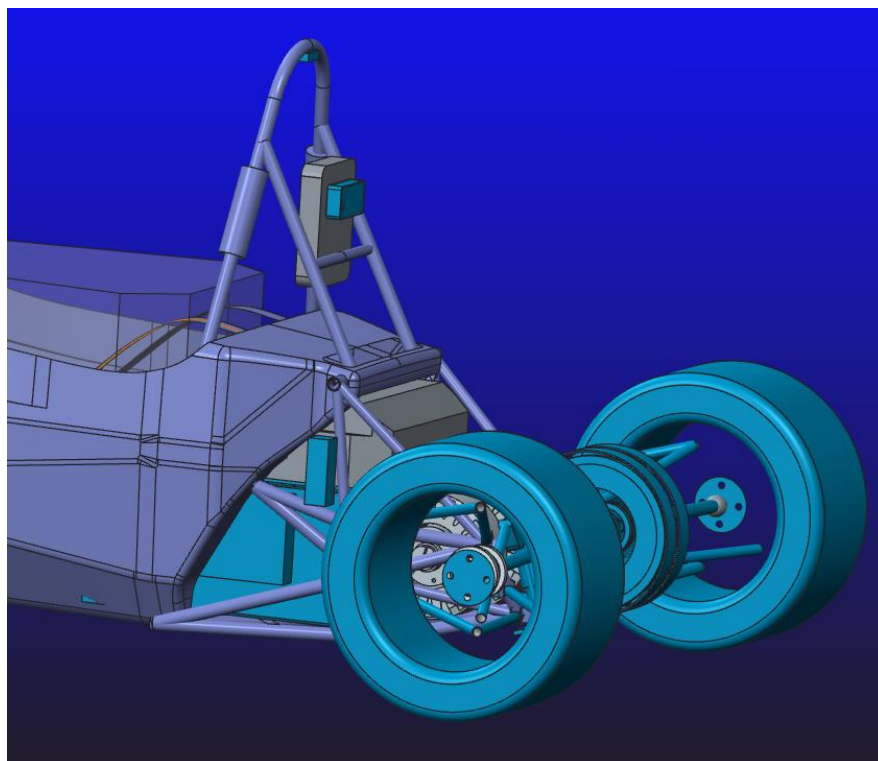
51. ábra Oldalsó futómű panel kialakítások

IV.11.4 **HAJTÁSLÁNC ÉS FUTÓMŰ KONZOL**

A referenciamunkában részletezett okok miatt a monocoque hátulját érdemesebb csővázal csatlakoztatni, így sokkal jobb a motortér szellőzése, hozzáférhetőbbek az alkatrészek, két független csoportban lehet az autó szerelésén dolgozni és nem utolsó sorban egy cserélhető alkatrésznek minősíthető, amely pl. egy benzines és egy elektromos autó egyidejű tervezésénél előnyt jelenthet, mivel elég csak a hátsó hajtáslánc és futómű részt másként tervezni. Csatatunknak 2011 óta saját elektromos autót építő csapata van, melyet a továbbiakban is szeretnénk működtetni, így ezt a szempontot is figyelembe kell venni tervezéskor.

IV.11.4.1 FŐ BUKÓKERET CSATLAKOZÁSOK

A main hoop és a pilóta pozíció elhelyezkedése miatt egy olyan koncepció mellett döntöttünk, amely úgy szerelhető szét, hogy a fő bukókeret és segéd támasztól független. Ez a megoldás egyszerűsíti az ülés és a biztonsági övek rögzítését, mivel szétszereléskor csak az elektronikai kábelezés, és a fékcsövezés köti össze a két felet, melyből az utóbbit a monocoque hátsó falára szerelt sokpólusú csatlakozókkal szétválaszthatóvá lehet tenni.

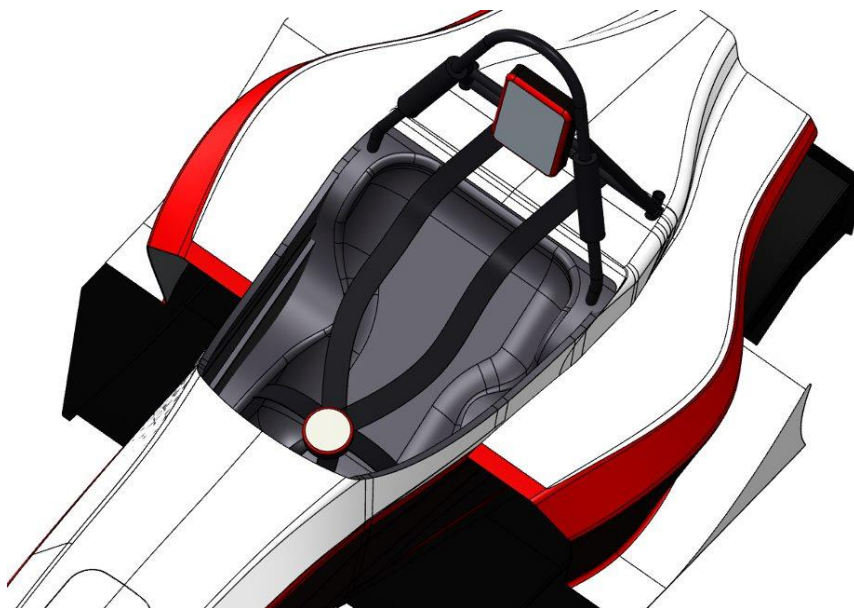


52. ábra Példa fő-bukókeret csatlakozásra

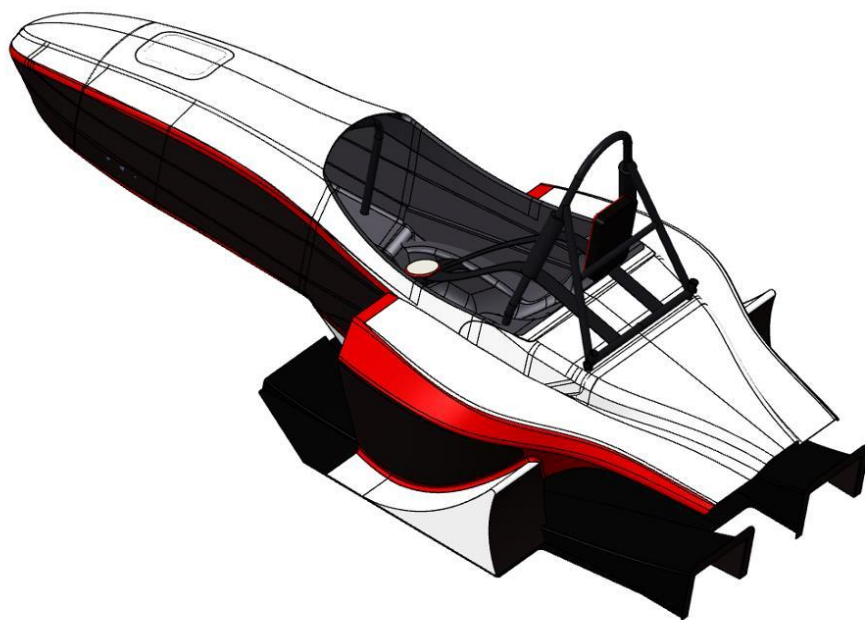
IV.12 ELŐZETES GEOMETRIAI KIALAKÍTÁS



53. ábra Előzetes geometriai kialakítás hátulnézetben



54. ábra Előzetes geometriai kialakítás felülnézetben



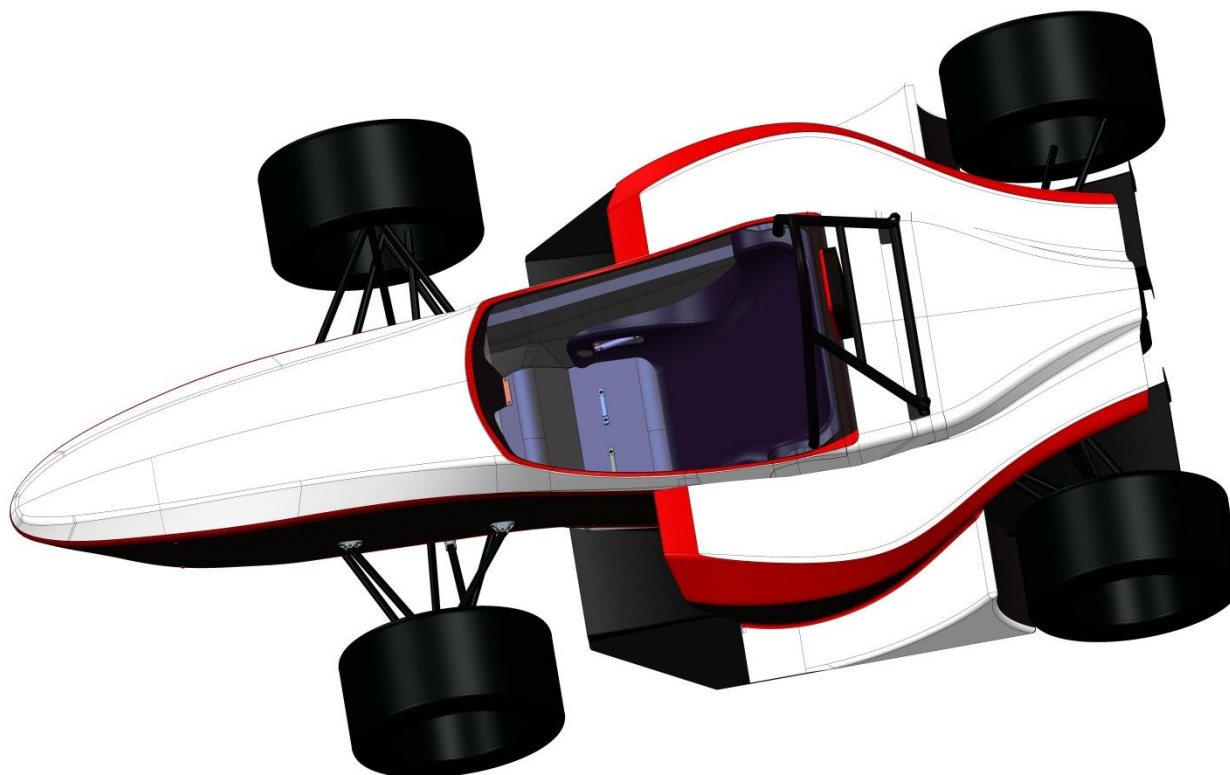
55. ábra Előzetes geometriai kialakítás oldalnézetben

IV.13 VÉGELEGES GEOMETRIAI KIALAKÍTÁS

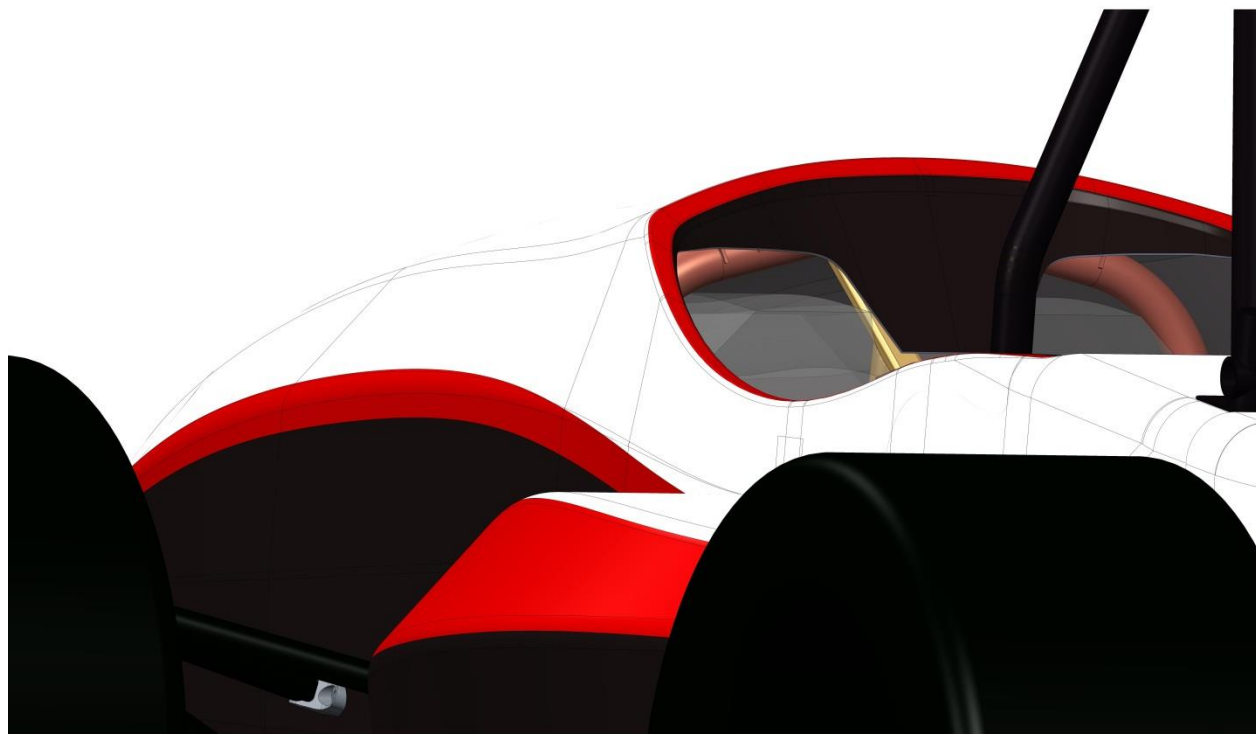
Az előzetes geometriához képest további finomítások, optimalizációk zajlottak a geometrián. A fő alak rádiuszai lehetőleg minél nagyobbra lettek véve, a lábtér keskenyebb lett, ezáltal hegyesebb orrot kapott, illetve egy integrált pilótafülke, kijelző és beszállóperem is kapott a végleges geometria.



56. ábra Végeleges geometriai kialakítás oldalnézetben



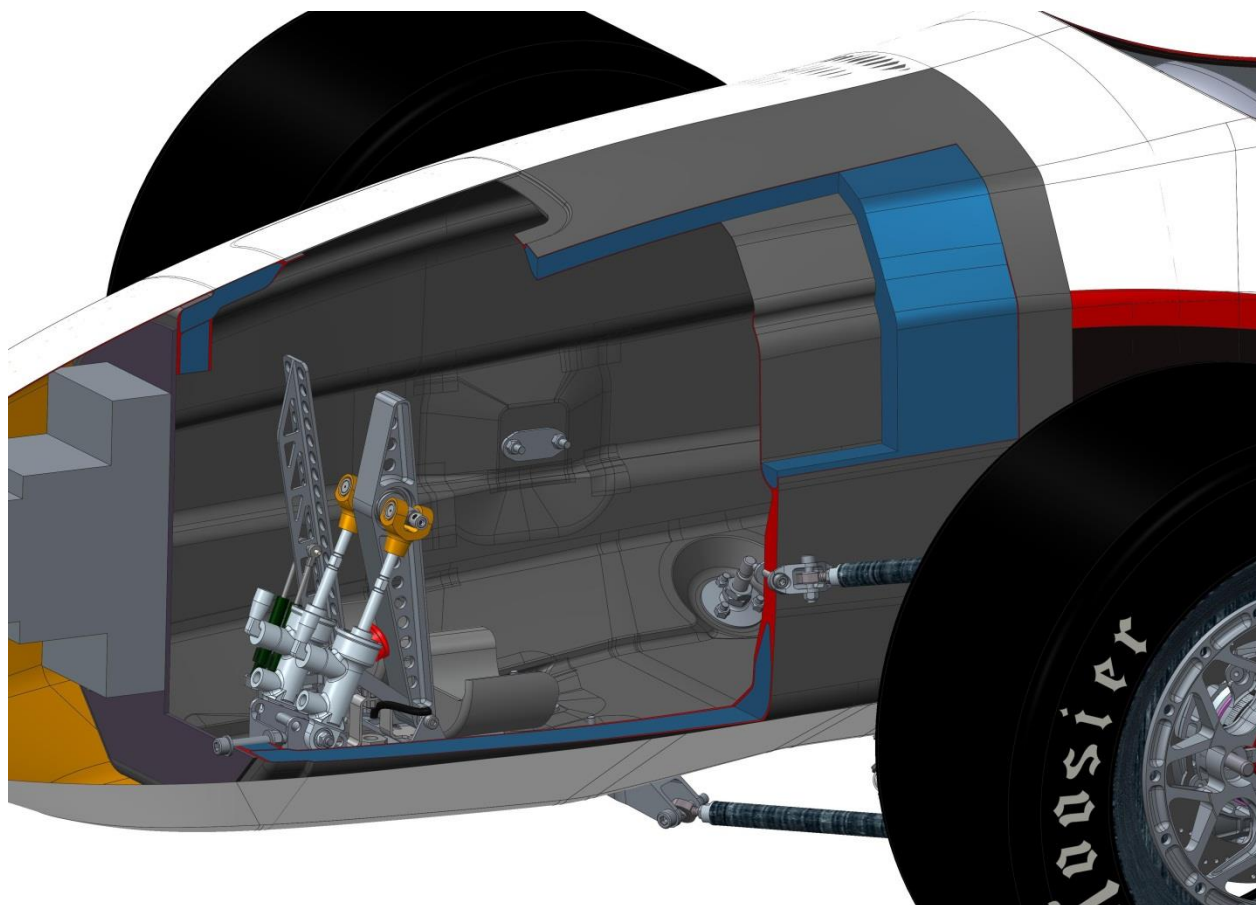
57. ábra Végeleges geometriai kialakítás felülnézetben



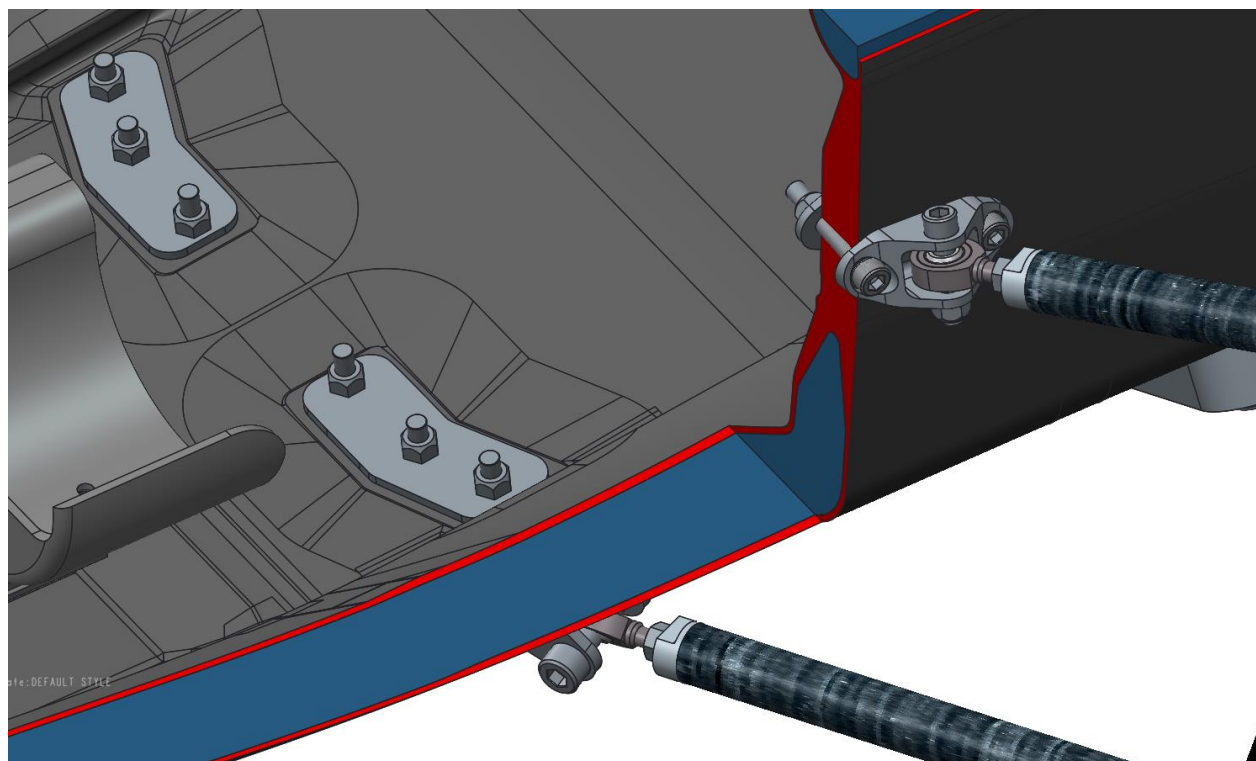
58. ábra Végeleges geometriai kialakítás: integrált pilótafülke, kijelző és beszállóperem



59. ábra Végeleges geometriai kialakítás



60. ábra Végeleges geometriai kialakítás, metszet 1.



61. ábra Végeleges geometriai kialakítás, metszet 2.

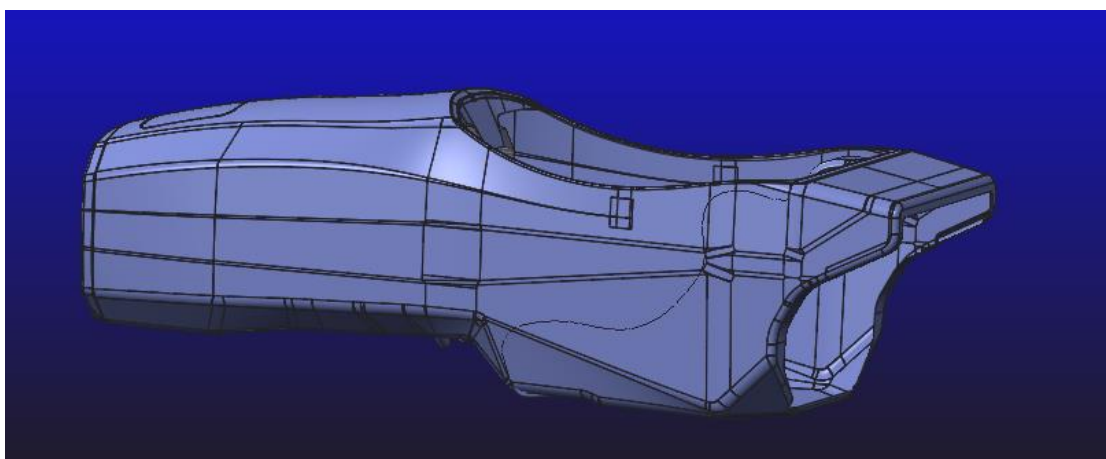
V MÉRETEZÉS

V.1 VÉGES ELEMES MODELLEZÉS

V.1.1 FELADAT MEGFOGALMAZÁSA

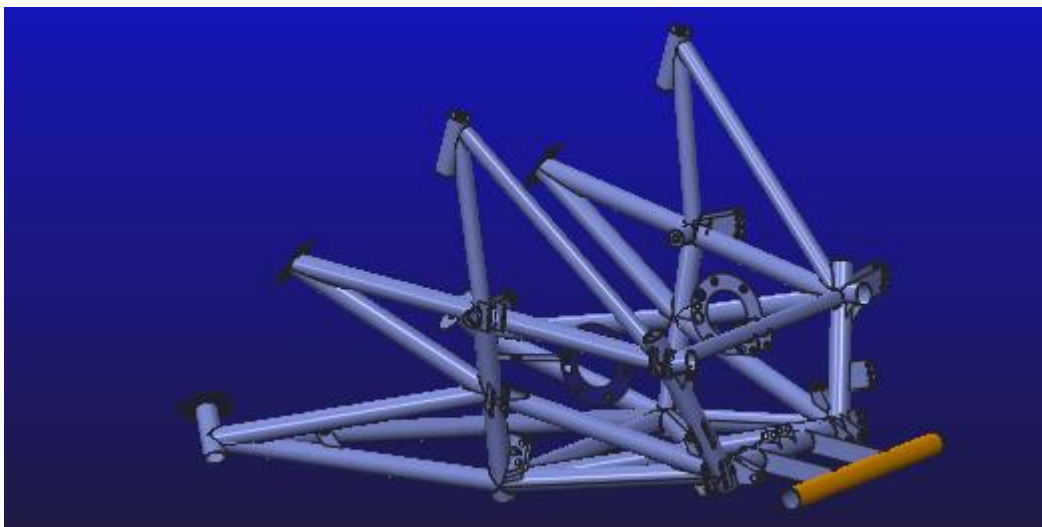
Feladatunk a BME Formula Racing Team 2013-as elektromos autója vázszerkezetének véges elemes analízise volt. A jármű vázszerkezete 2 részből áll:

- Monocoque: a pilóta körüli vázszerkezet, biztonságtechnikai okok miatt, a szabályzat szabályzása szerinti feltételeknek meg kell felelnie. Jellemző méret: hossz: 1700 mm



62. ábra Monocoque vázszerkezet

- Hátsó csőváz: a hajtásláncot és a motorokat körülvevő kisebb méretű vázrész, fő feladata a nagyfeszültségű alkatrészek védelme és a hátsó futómű-elemek bekötési pontjait biztosítja. Hossz: 400 mm

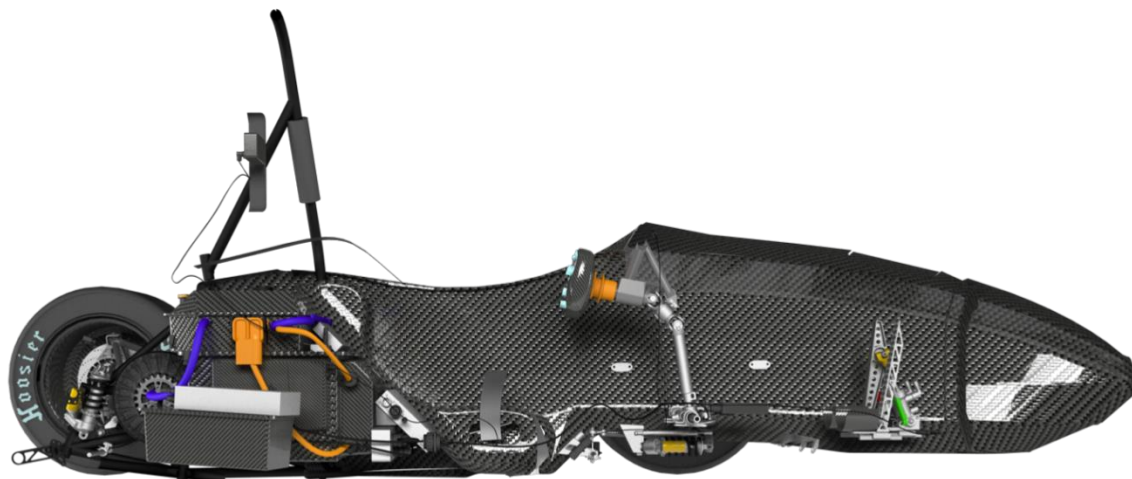


63. ábra Hátsó csőváz

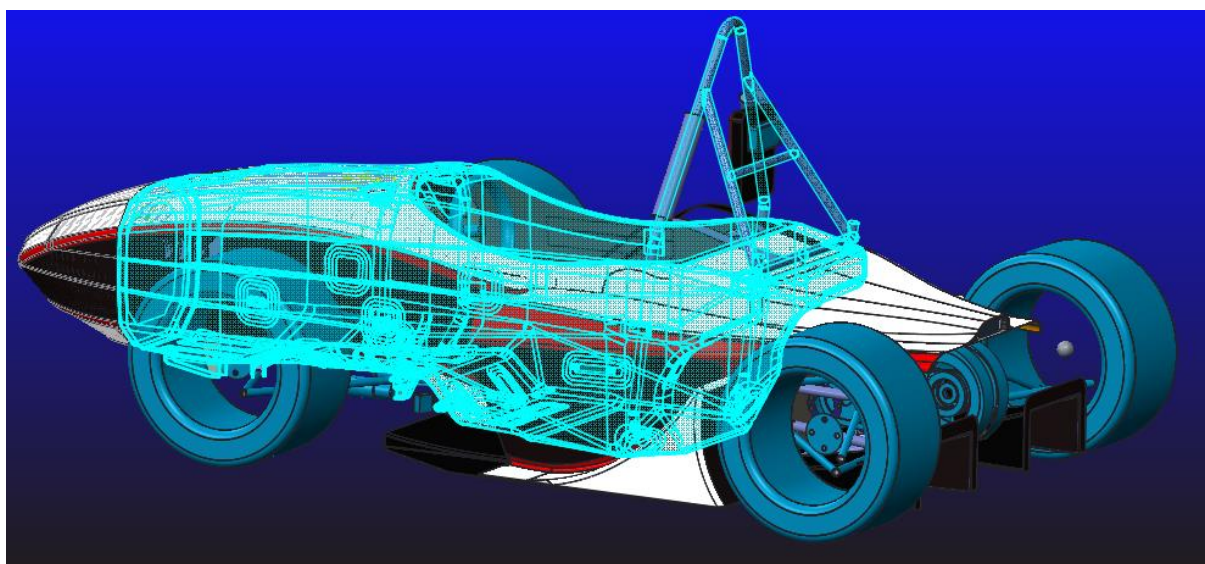
Ez a része a dolgozatnak a Monocoque rész véges elemes analízisével foglalkozik. Jármű szerkezettanilag ez önhordó karosszériás kivitelű.

Epoxy gyantarendszert használtunk szénszál erősítőanyaggal. Maganyagként, a vákuuminfúziós gyártástechnológia miatt nem méhsejtet, hanem zárt cellás maganyagot használtunk. Erre azért van szükség, mert a méhsejt a vákuum infúzió miatt felgyűlik gyantával, így a szerkezet túl nehéz lesz, a felesleges gyanta miatt.

- Gyantarendszer: SR8100
- Erősítőszálak:
 - Zoltek Panex 250 g/m² UD,
 - 2/2 Szövet 220 g/m² 2mm,
 - 2/2 Szövet 220 g/m² 7mm,
- Maganyagok:
 - Airex C130, PVC
 - Coremat, Sorik



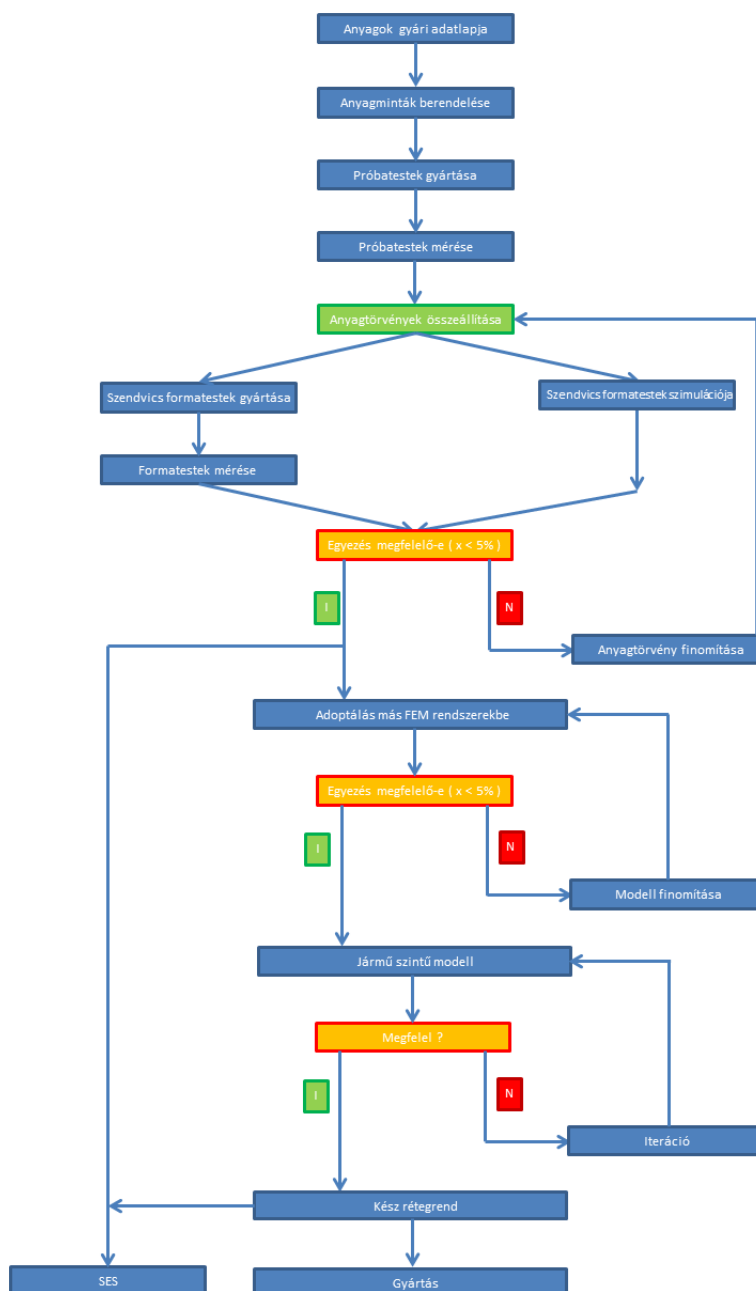
64. ábra A 2013-as elektromos autó metszete



65. ábra A 2013-as elektromos autó CAD modellje és a Monocoque elhelyezkedése

V.2 ANYAGTÖRVÉNYEK MEGHATÁROZÁSA

A teljes folyamat az alábbi ábrán található:

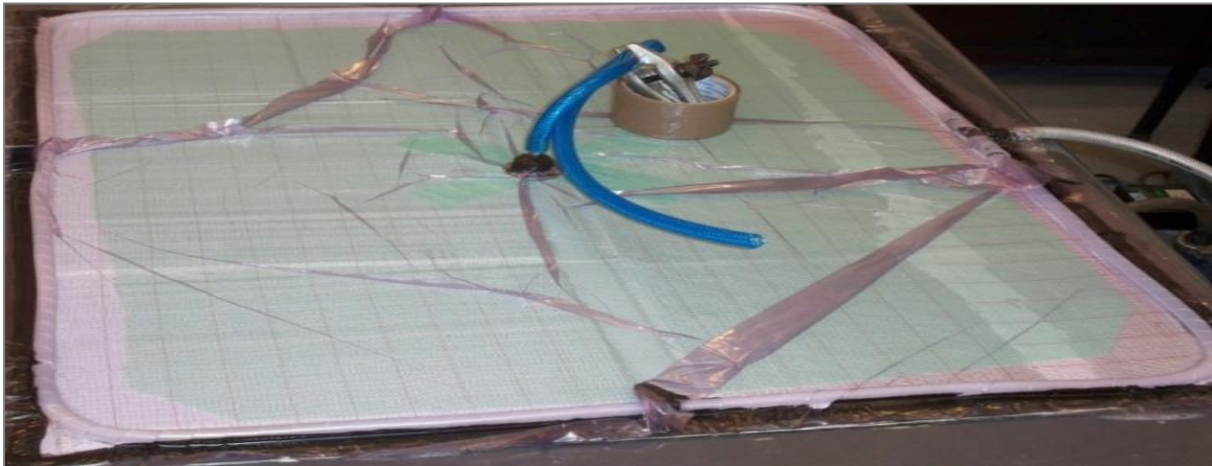


66. ábra A teljes monocoque méretezési módszer

Mivel a folyamat terjedelmében jóval hosszabb, mint amit ebben a TDK-ban le lehetne írni, ezért csak részleteket fogunk bemutatni belőle, a fő és lényeges pontokat.

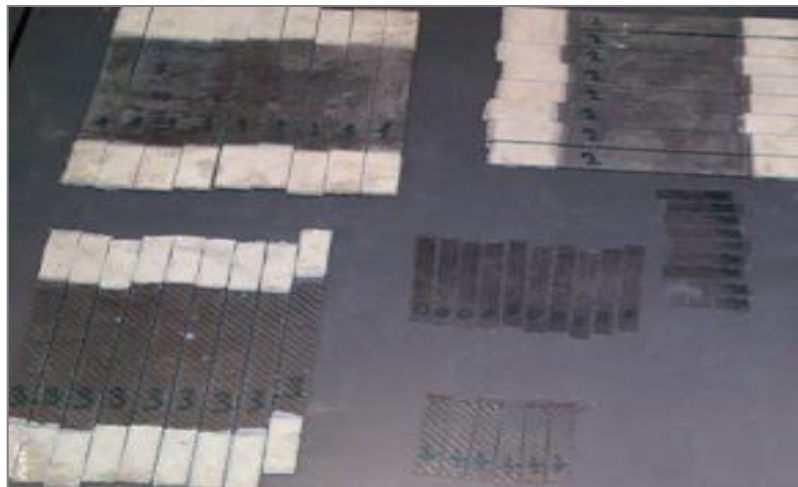
V.2.1 ANYAGTÖRVÉNYEK MEGHATÁROZÁSA

Ebben a fejezetben azzal kívánunk foglalkozni, hogy hogyan határoztuk meg a rendelkezésre álló anyagtörvényeket. Ezeket a méréseket Kling Sándor doktorandusz, a csapatban a kompozit csoportvezetője vezetése alatt végeztük.



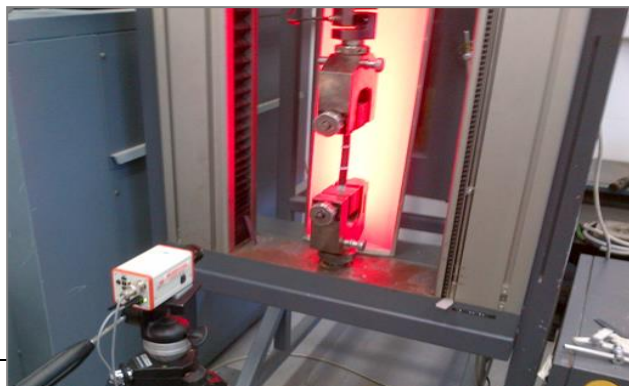
67. ábra A próbatestek gyártása

A próbatestek gyártásakor nagyon fontos, hogy a próbaesteknél alkalmazott gyártástechnológia, ugyanaz legyen, mint a végső darabnál alkalmazottnál. Emellett a gyantatartalom még az, aminek fontos szerepe van abban, hogy a mérés minél pontosabb legyen, ezt a vákuuminfúzió előnyeit



69. ábra Próbatestek

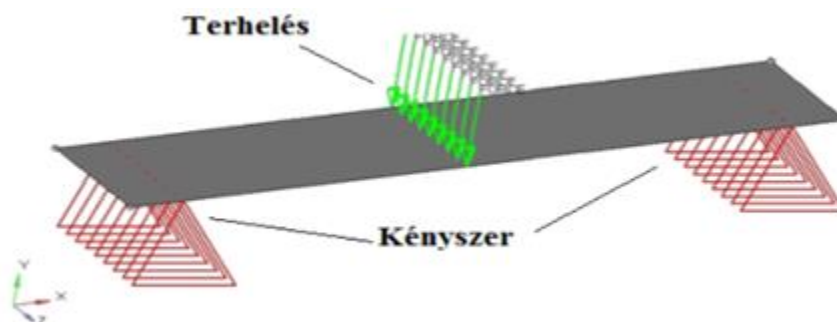
kihasználva pontosan tudtuk szabályozni. A gyártási környezeti hőmérséklet 20°C volt, a mérési hőmérséklet szintén 20°C volt. Az anyagtulajdonságokat a húzó, nyomó, nyíró és hajlító próbatestekkel határoztuk meg.



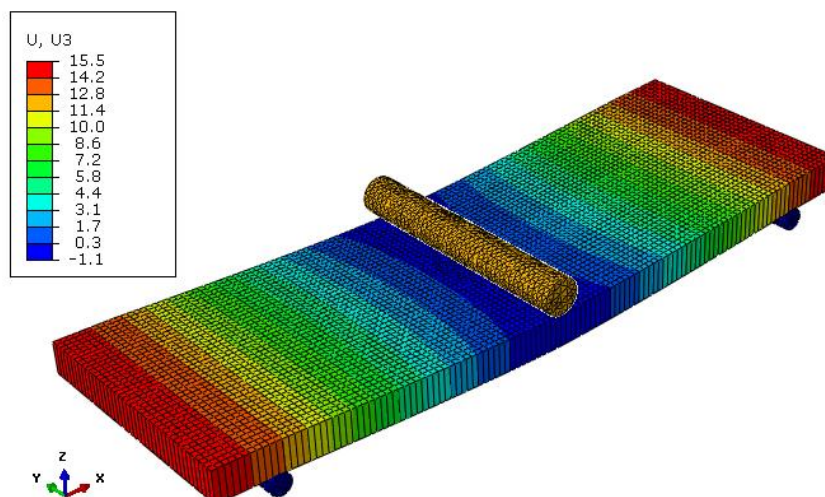
68. ábra Videó-extenderes anyagvizsgálat szakitógépen

V.2.2 FORMATESTEK MÉRÉSE

A versenyszabályzat megköveteli, hogy a méretezési módszertől függetlenül készítsünk formatest méréseket. Ezt megtettük, a rétegrendet pedig az előbbi anyagtulajdonságok alapján számítottuk ki. A pontos eredmények érdekében, és a validációk miatt 2 független szoftvert használtunk:



70. ábra 3 pontos hajlítás, Shell modell, Hyperworks



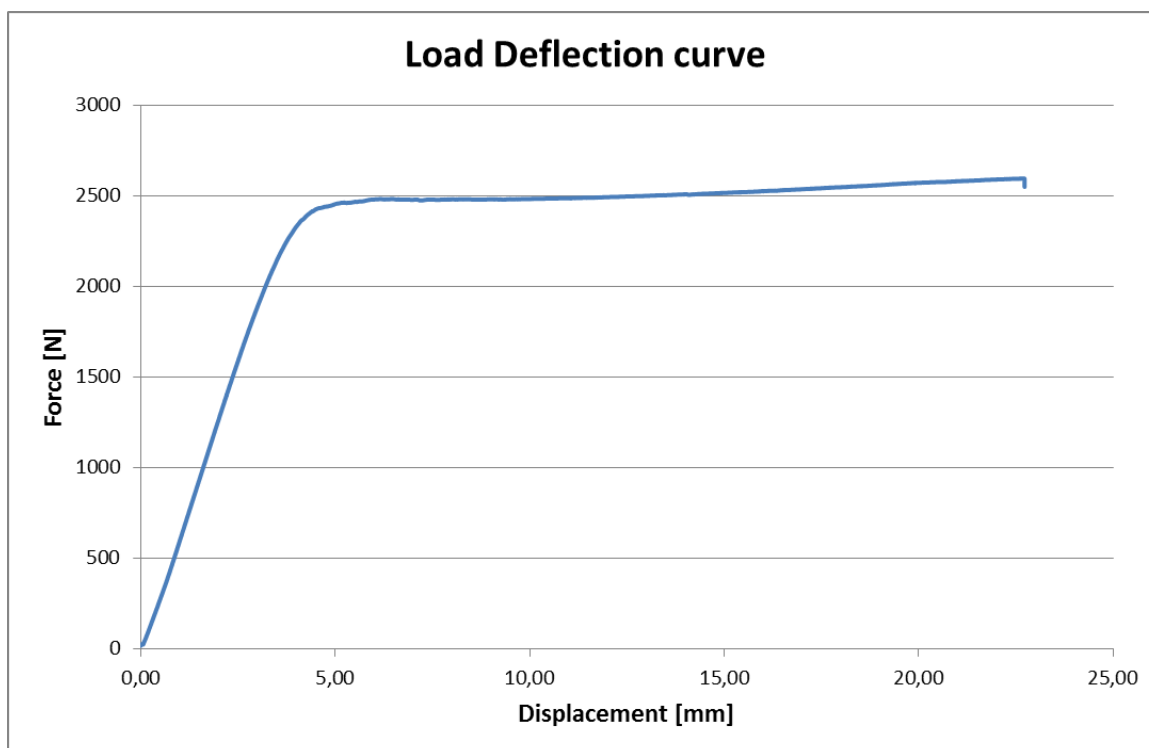
71. ábra 3 pontos hajlítás, Solid modell, Abaqus

72. ábra A számított eredmények összefoglaló táblázata

deformációját mutatja meg:



73. ábra A mérőgép deformációjának kimérése, mérési összeállítás



74. ábra A mérőgép deformációjának kimérésének görbéje

A fenti görbéből számítható a gép merevsége.

Figure 4: Load Deflection Curve - Steel Tube(s)

Enter values for minimum and maximum load/deflection in linear-elastic region

x_1 (mm)	1	y_1 (N)	598	Gradient (N/mm)	661
x_2 (mm)	2,5	y_2 (N)	1590		

Enter details of tube(s) tested

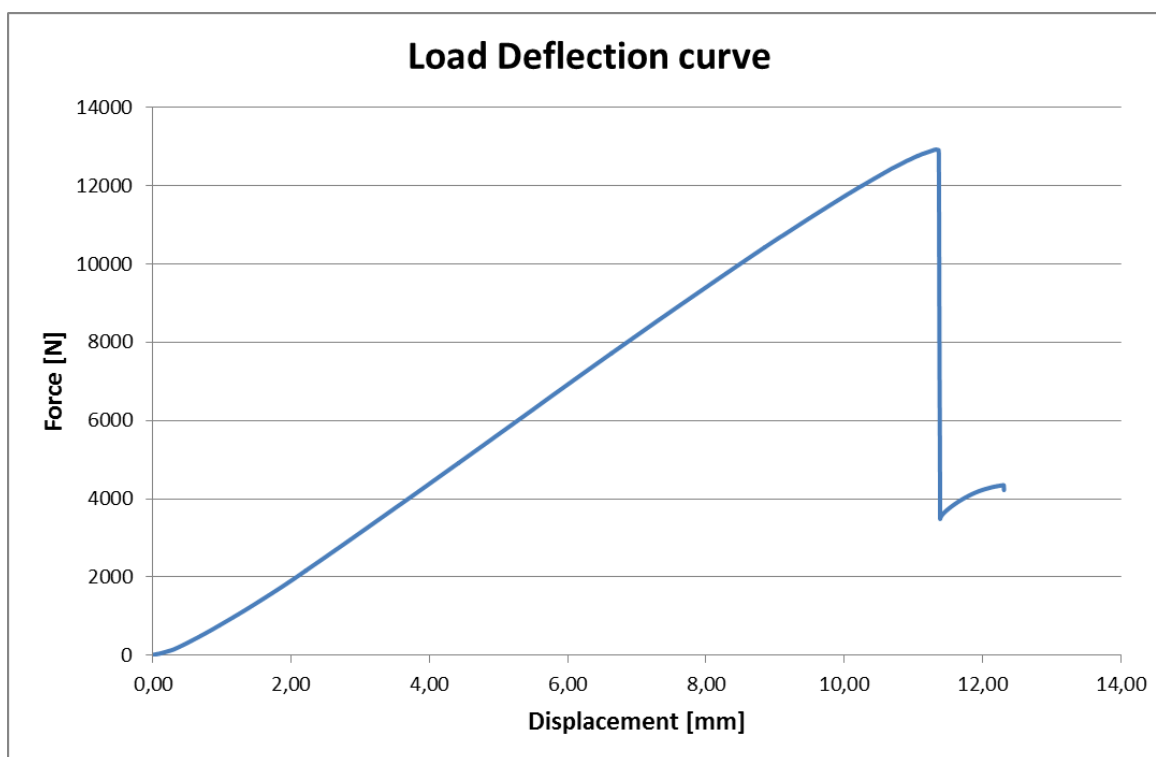
I (mm)	500	Tube Support Span	Theoretical EI (N.mm ²)	1,93E+09
n	1	Number of Tubes	Tested EI (N.mm ²)	1,72E+09
D_o (mm)	25	Tube Outer Diameter	Rig Compliance (N/mm)	78
D_i (mm)	21	Tube Inner Diameter		

75. ábra A mérőgép deformációjának kiértékelése

Az eredmények alapján a mérőgép merevsége a lamináltra vetítve 78N/mm.



76. ábra 3 pontos hajlítás a formatesten



77. ábra A végleges formatest (v3) erő elmozdulás diagramja hajlításra

A fenti mérési eredményről leolvasható, az x_1 , x_2 , y_1 , y_2 , értékek, amelyek alapján a következő táblázatban analitikusan számoljuk, illetve ellenőrizzük, hogy a szabályzatnak megfelelő merevséget tudja-e a szerkezet.

43 Figure 2: Load Deflection Curve

44

45 Enter values for minimum and maximum load/deflection in linear-elastic region

46

x_1 (mm)	2,075	y_1 (N)	2000,27	Gradient (N/mm)	1331
x_2 (mm)	5,749	y_2 (N)	6603,3	(>= bending stiffness of one baseline side impact tube)	

47

48

49 Enter value for force at panel failure or maximum tested force

50

y_{max} (N)	12921,9	(>= bending strength of two baseline side impact tubes)			
---------------	---------	---	--	--	--

51

52 Enter details of test setup, panel core and skin thicknesses below

53

l (mm)	500	Panel Support Span
h (mm)	200	Panel Height (should be 200mm, alternative sizes must be agreed in advance)
b (mm)	25	Core Thickness (from T3.25/T3.34 Side Impact Structure tab)
t_1 (mm)	1,6	Inner Skin Thickness (from T3.25/T3.34 Side Impact Structure tab)
t_2 (mm)	1,6	Outer Skin Thickness (from T3.25/T3.34 Side Impact Structure tab)
I (mm ⁴)	113346	Second moment of area
E (GPa)	30,6	Skin modulus of elasticity
σ_{UTS} (MPa)	201	UTS of skins

54

55

56

57

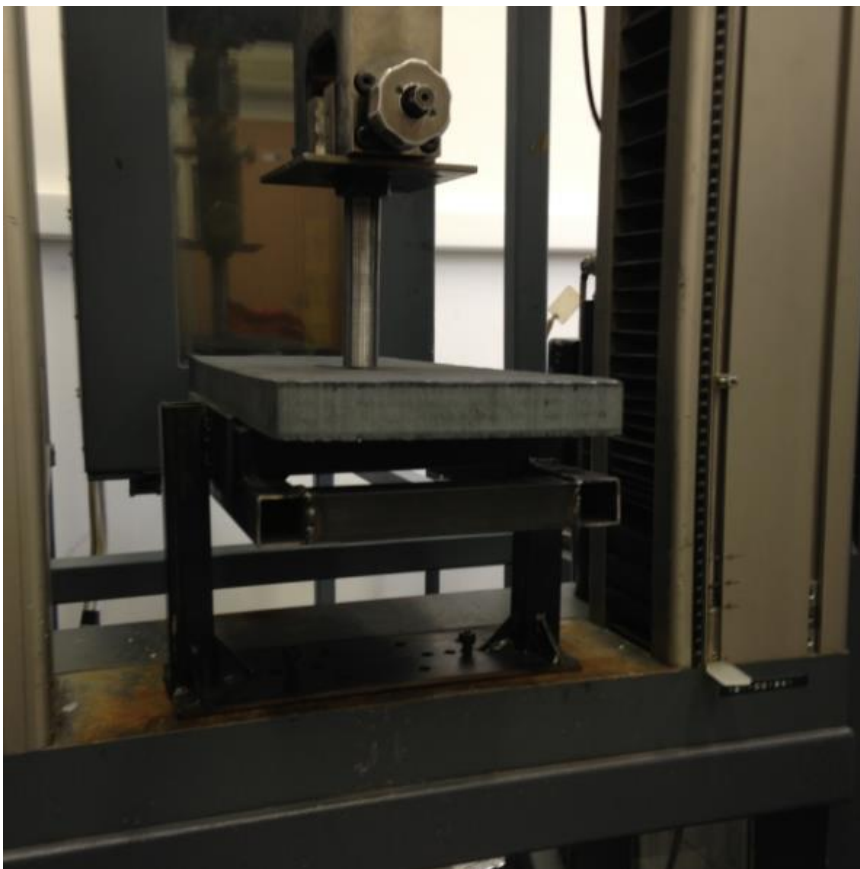
58

59

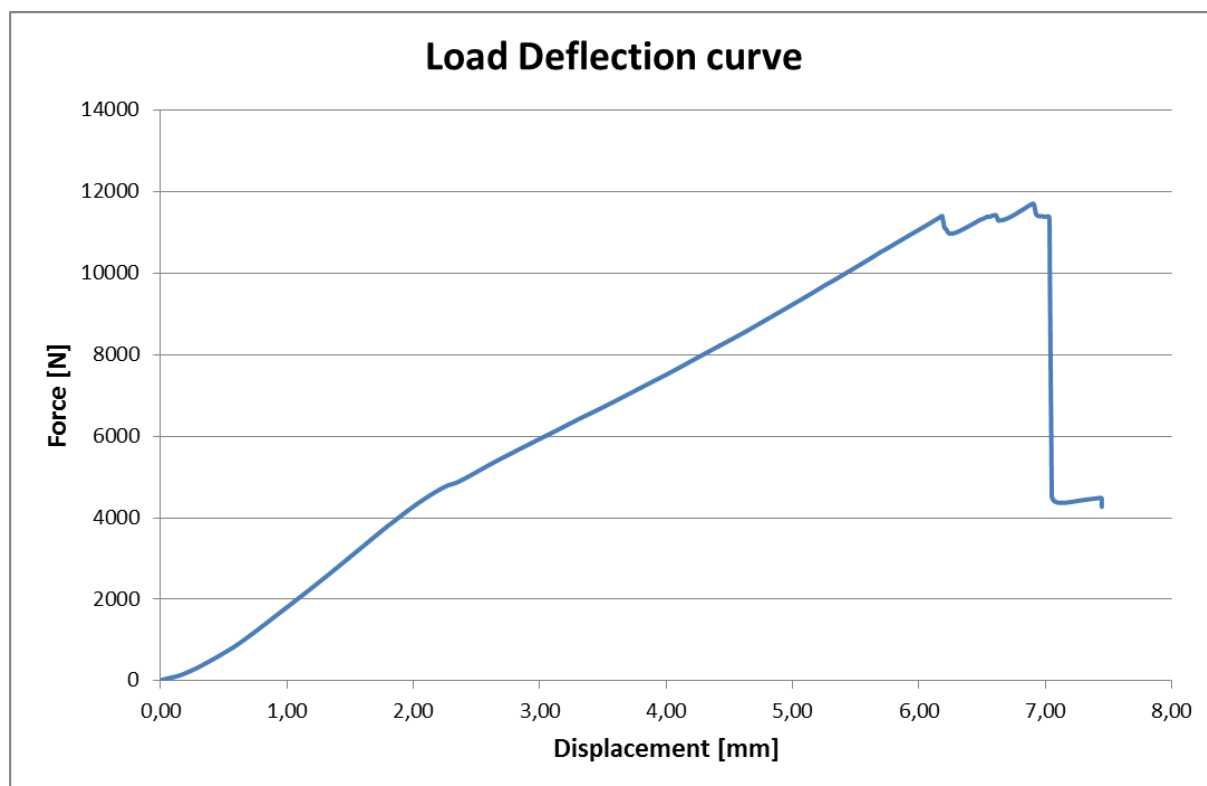
60

78. ábra Leolvasott értékek, és a formatest minősítése hajlításra

A szabályzat előírja a nyírásra való ellenőrzést is, ezt is az alábbi módon ellenőriztük:



79. ábra Formatest nyírása



80. ábra A végleges formatest (v3) erő elmozdulás diagramja nyírásra

Figure 2: Load Deflection Curve

Enter value for force at failure or maximum tested force
 $y_{\max}$ (N) PASS

Enter details of skin thickness
 t (mm)

σ_{shear} (Mpa) Shear strength of skin, used for attachment calcs where appropriate

81. ábra Leolvasott értékek, és a formatest minősítése nyírásra

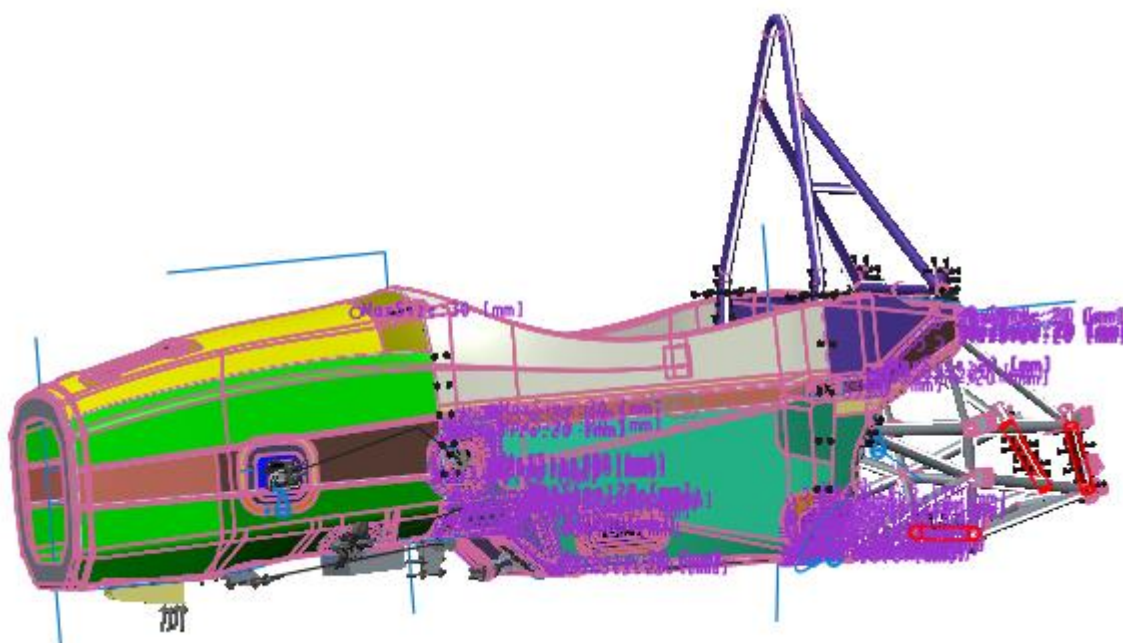
A számítások alapján tehát a formatest nyírásra megfelel.

A szimulációkat és mérési eredményeket összehasonlítva az eredmények 99,7%-os összefüggést mutattak. Ez rendkívül jónak mondható, a vártnál, azaz 5%-nál egy teljes nagyságrenddel jobb.

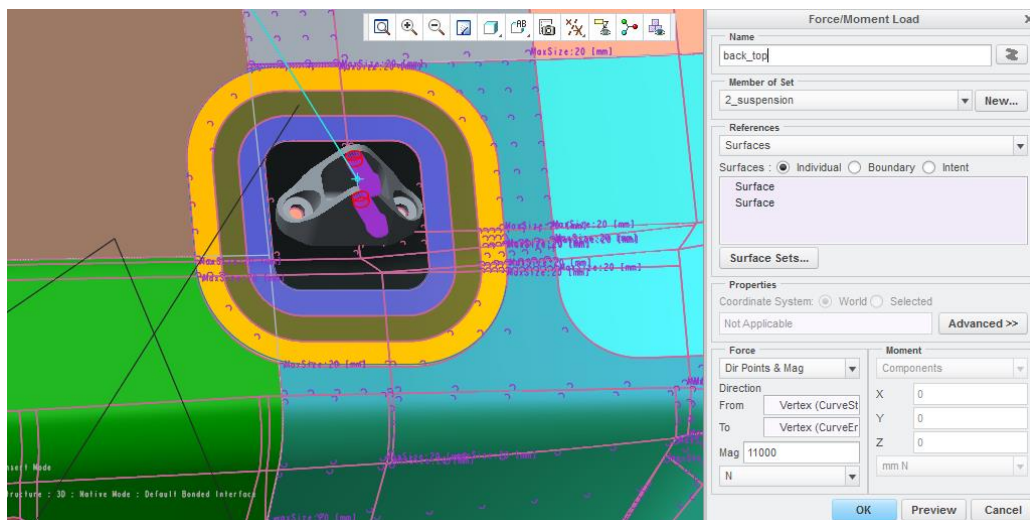
V.3 A SZERKEZET MÉRETEZÉSE

Az anyagtörvények meghatározása után, a formatestek mérése után a teljes szerkezet szimulációjával folytattuk. Ebben az esetben a szerkezet legnagyobb valós terhelését vettük figyelembe, amely a futómű felől érkezik. A követelményjegyzékben felsorolt biztonsági kritériumokat amelyeket a szabályzat megkövetel, azt a fő oldalfal (side impact structure) mérése alapján teljesítettük az előző bekezdésben.

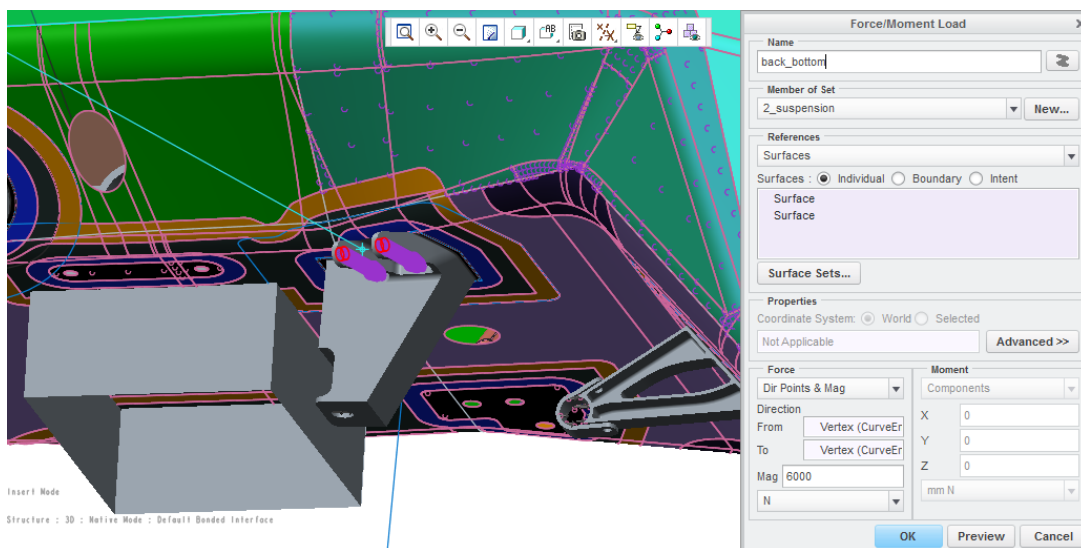
V.3.1 PEREMFELTÉTELEK, TERHELÉSEK, ZÓNÁK



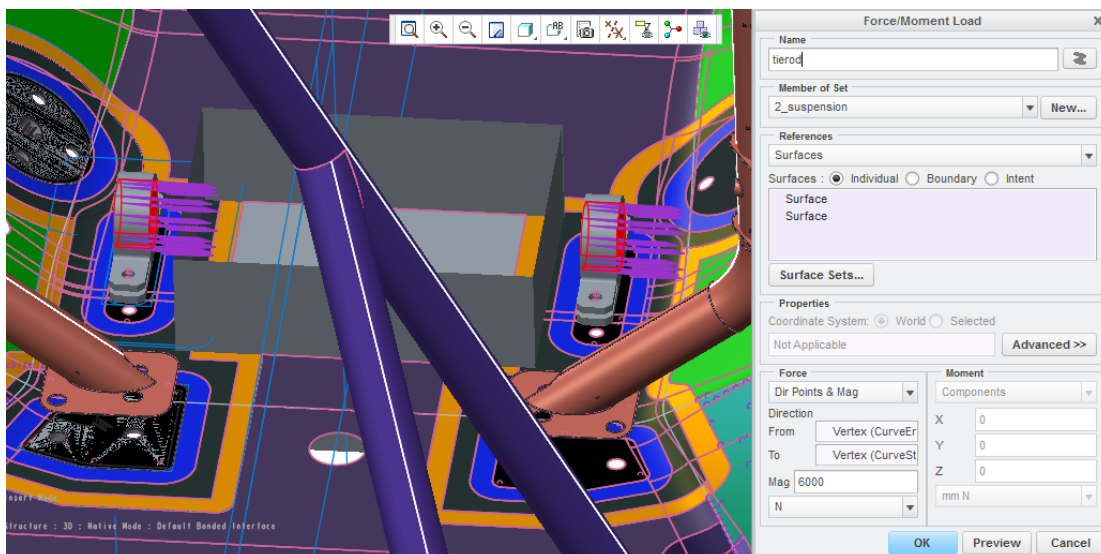
82. ábra Peremfeltételek a hátsó csőváz részen



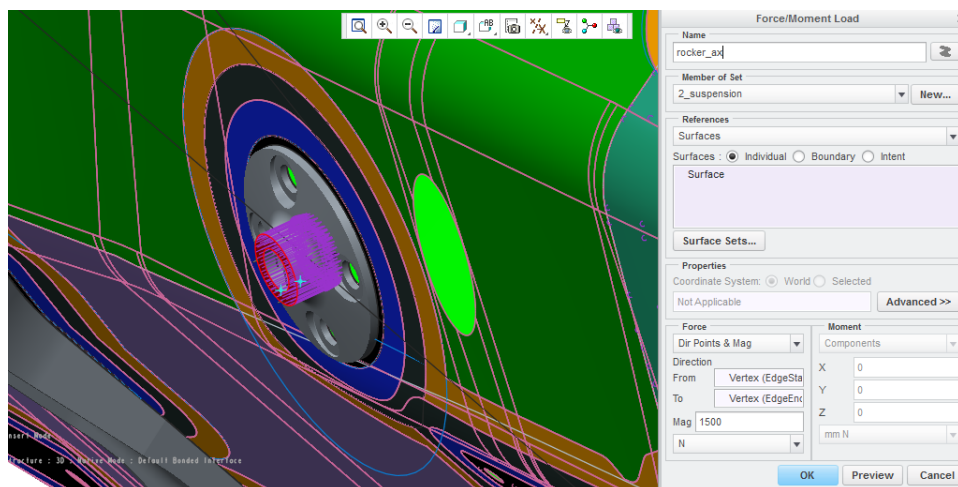
85. ábra Hátsó felső lengőkar terhelése



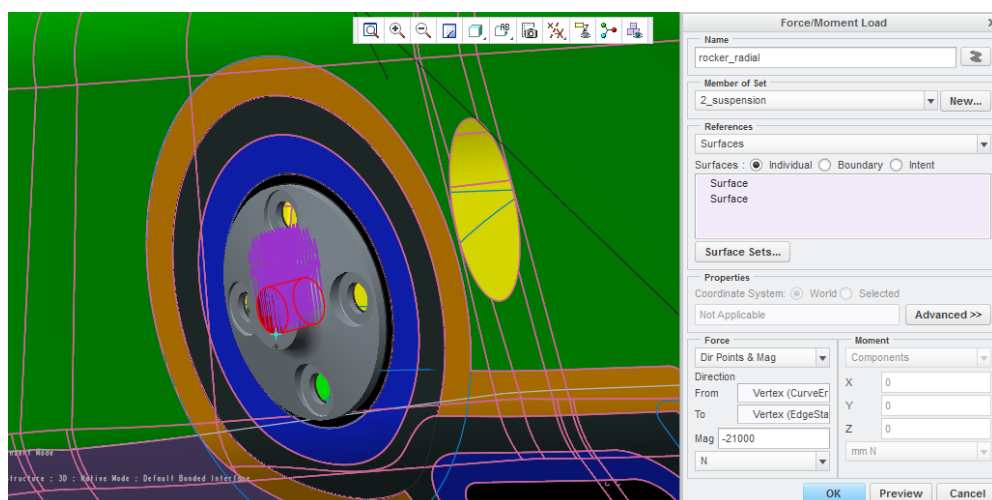
86. ábra Első alsó lengőkar terhelése



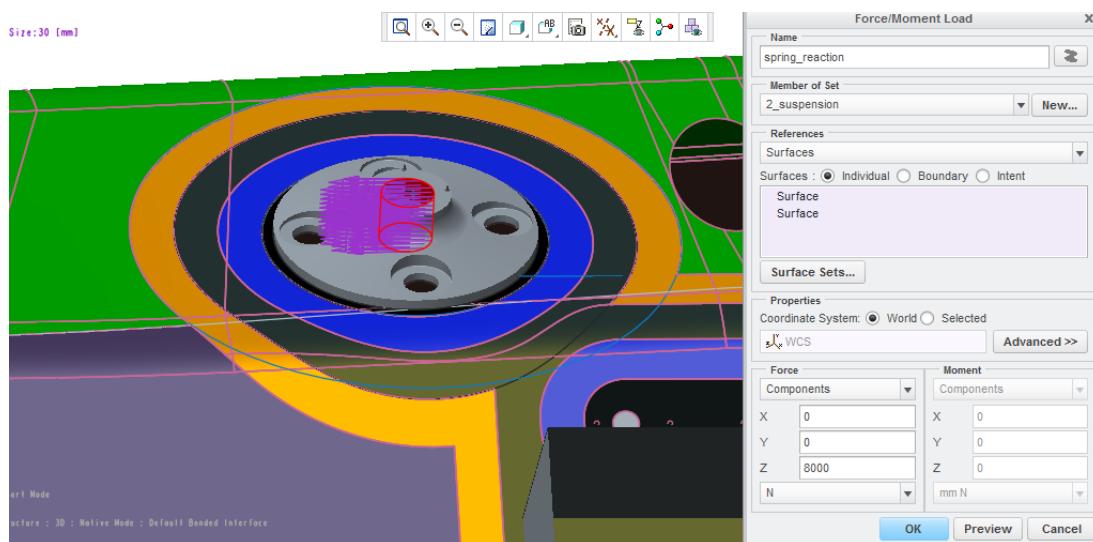
87. ábra Kormánygép rögzítése



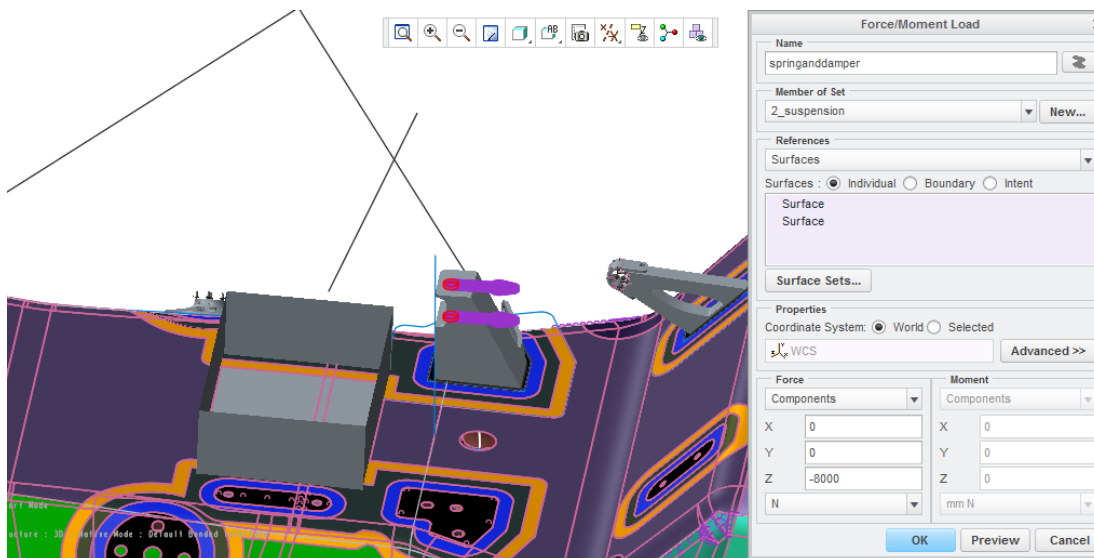
88. ábra Himba axiális terhelése



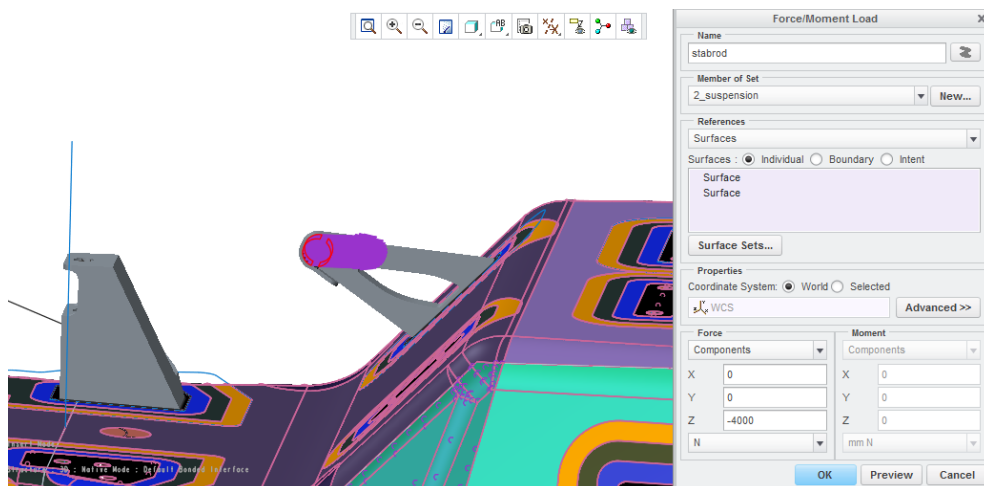
89. ábra Himba radiális terhelése 1



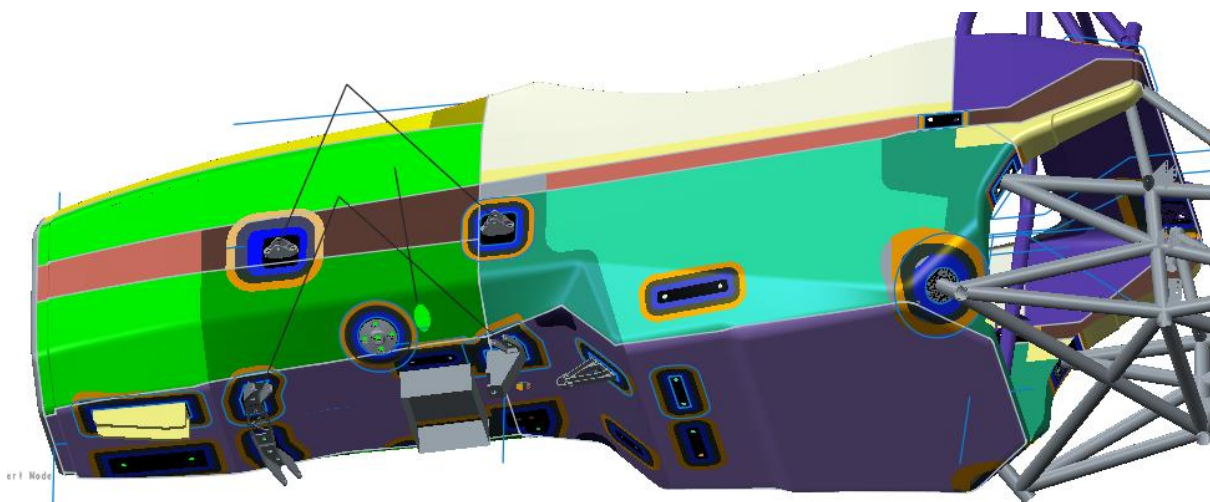
90. ábra Himba radiális terhelése 2



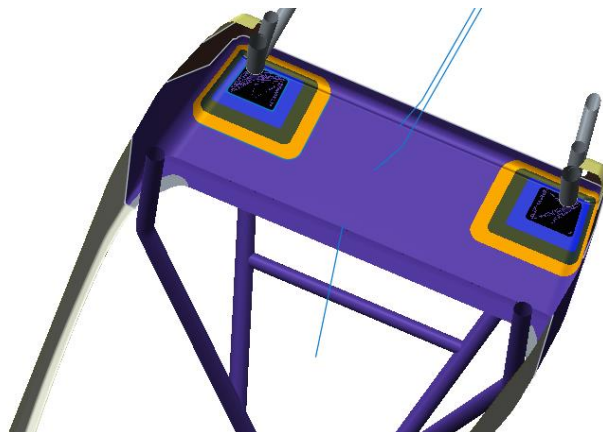
91. ábra Rugóstag rögzítése



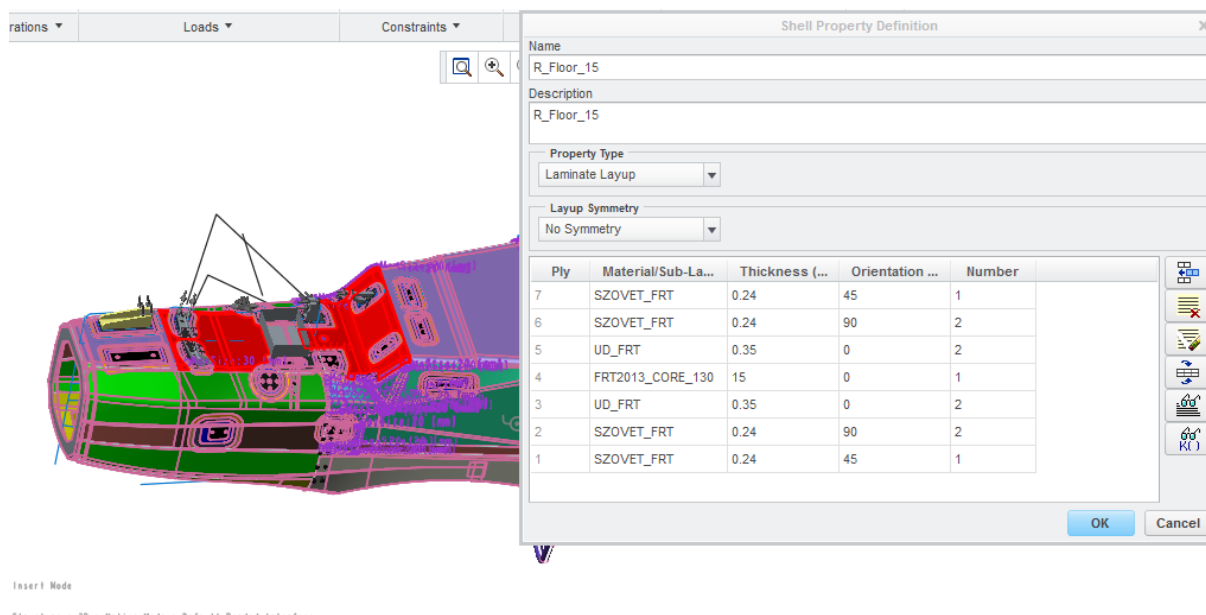
92. ábra Stabilizátor terhelése



93. ábra Összesen 56 darab különböző zóna található a monocoqueban

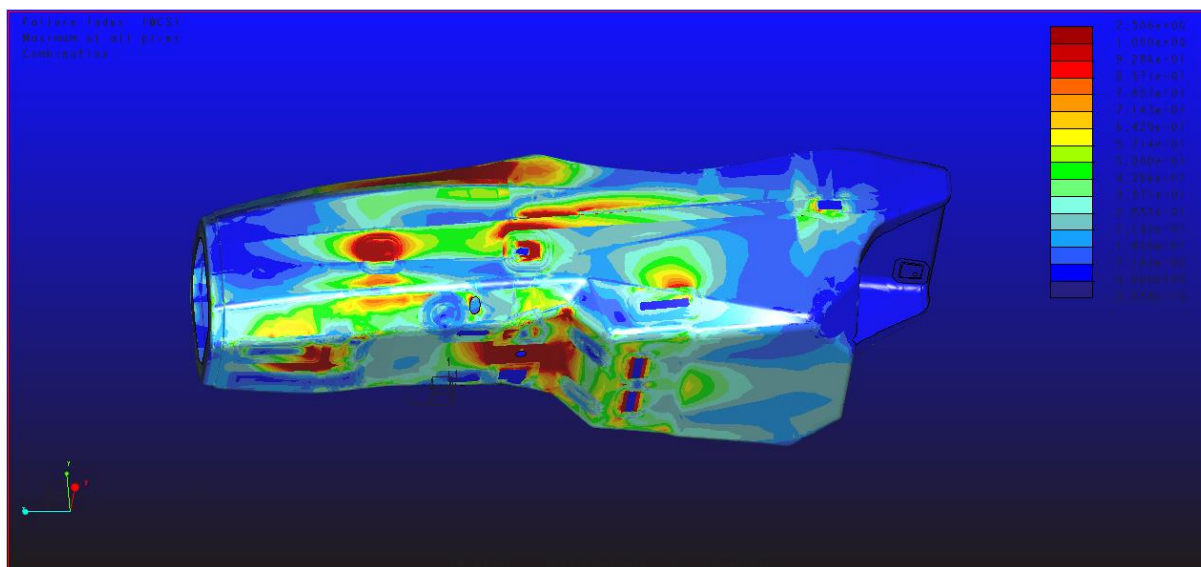


94. ábra A különböző zónák a valóságban és a VEM modellben

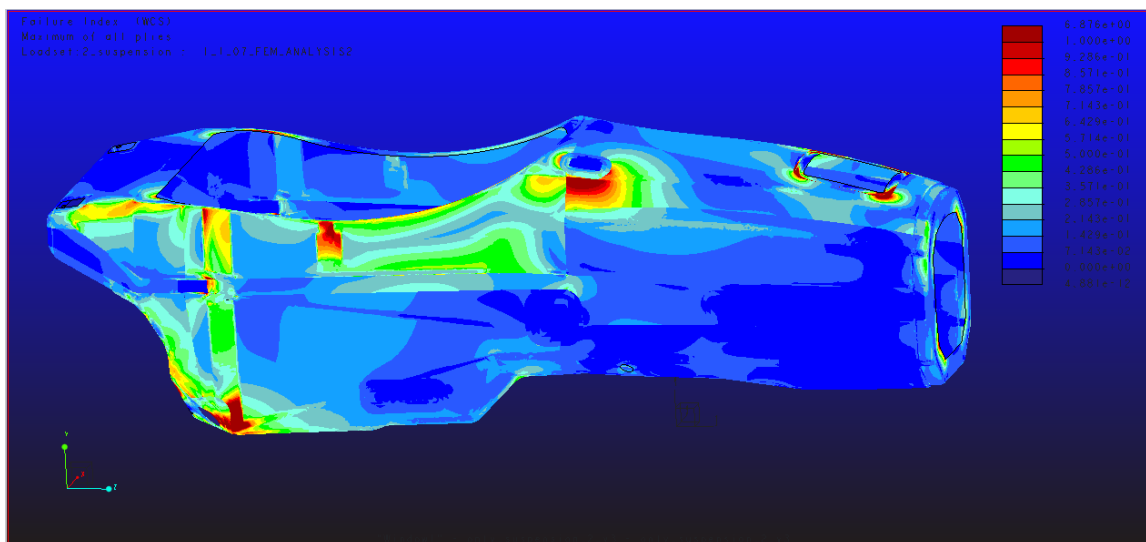


95. ábra Példa egy zóna megadására

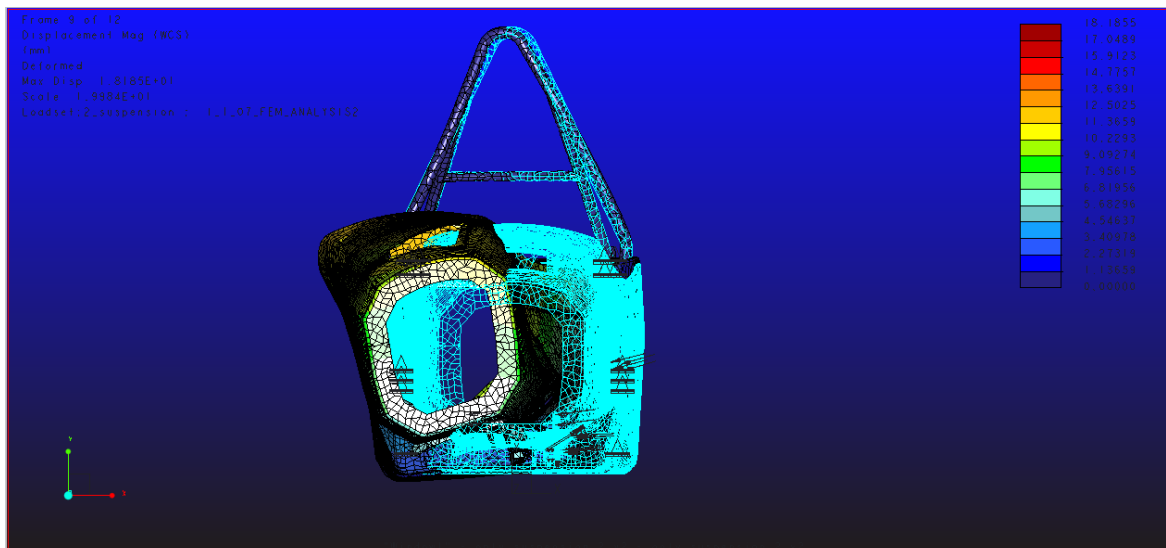
V.3.2 ELSŐ EREDMÉNYEK



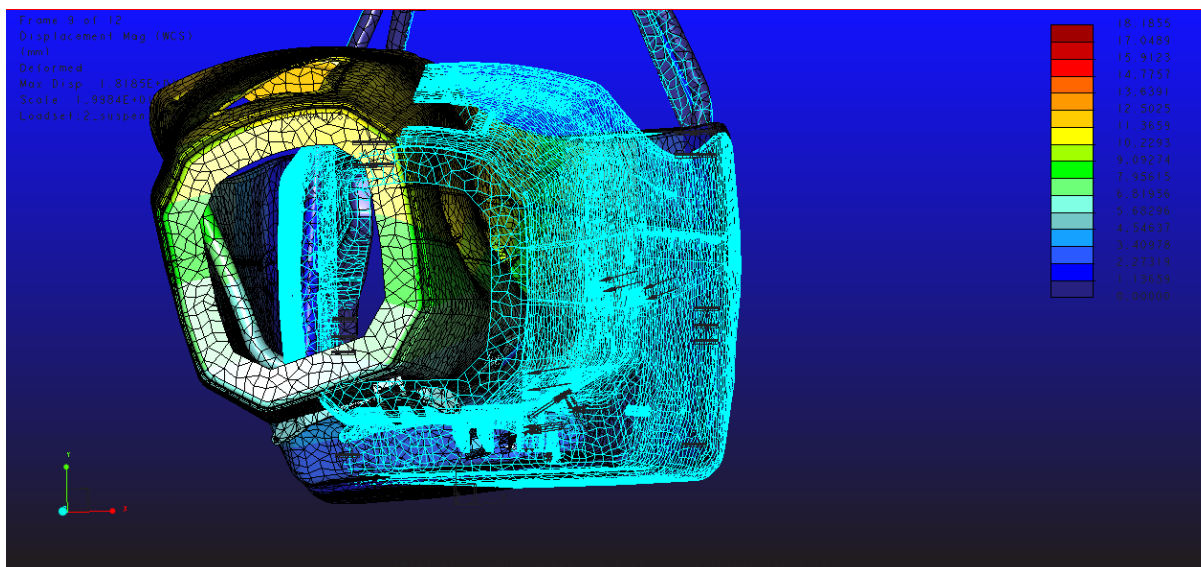
96. ábra Tsai - Wu kritérium a bal oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan nem felel meg



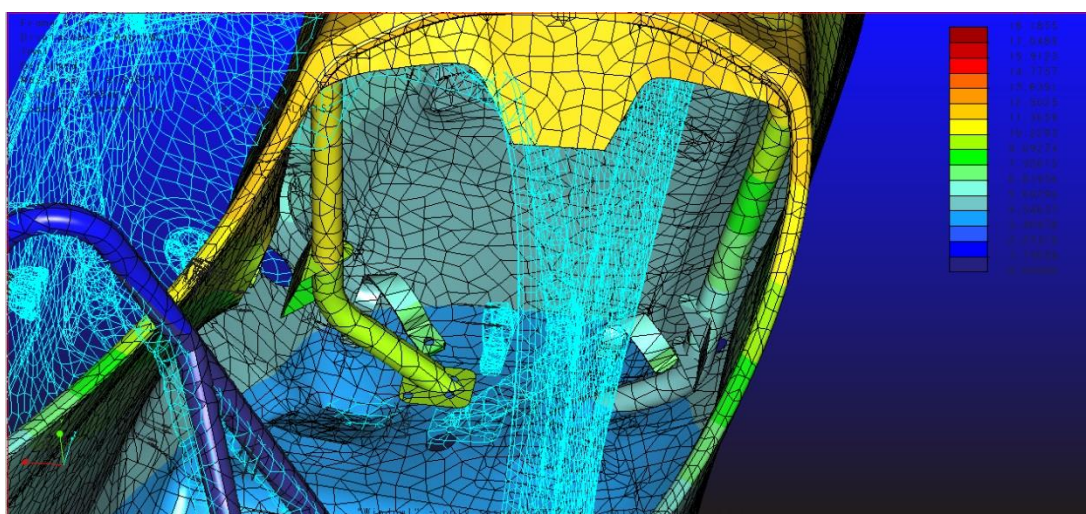
97. ábra Tsai - Wu kritérium a jobb oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan nem felel meg



98. ábra Deformáció a szerkezeten I.

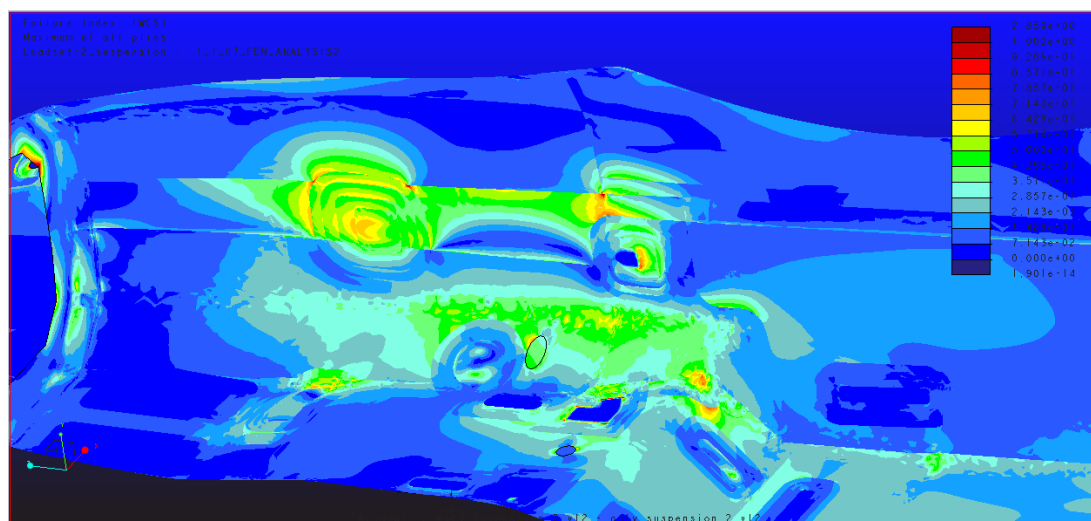


99. ábra Deformáció a szerkezeten II.

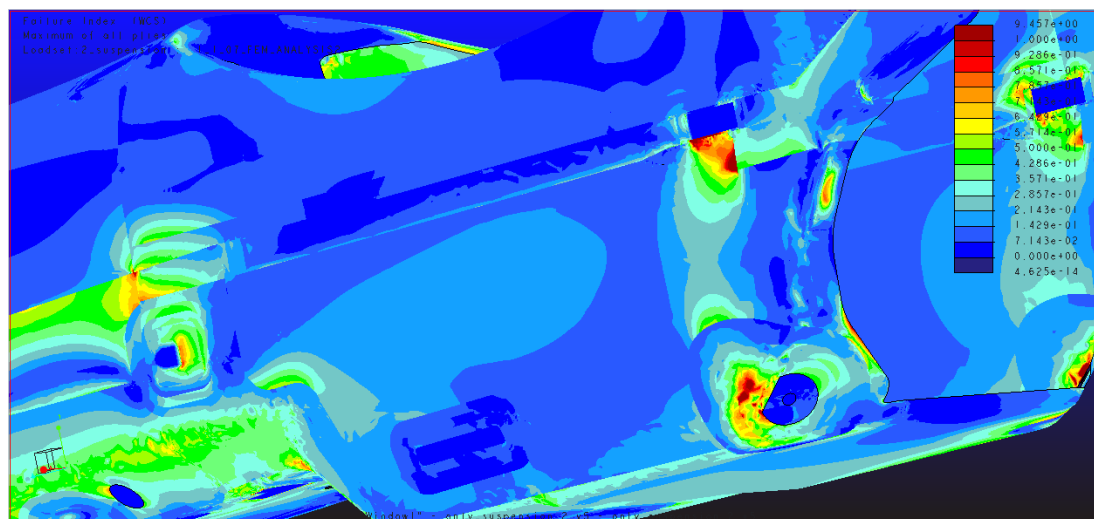


100. ábra Deformáció a szerkezeten III.

V.3.3 KÖZBENSŐ EREDMÉNYEK



101. ábra Tsai - Wu kritérium a bal oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan nem felel még meg, az alsó részen további megerősítéseket (plusz rétegeket) igényel

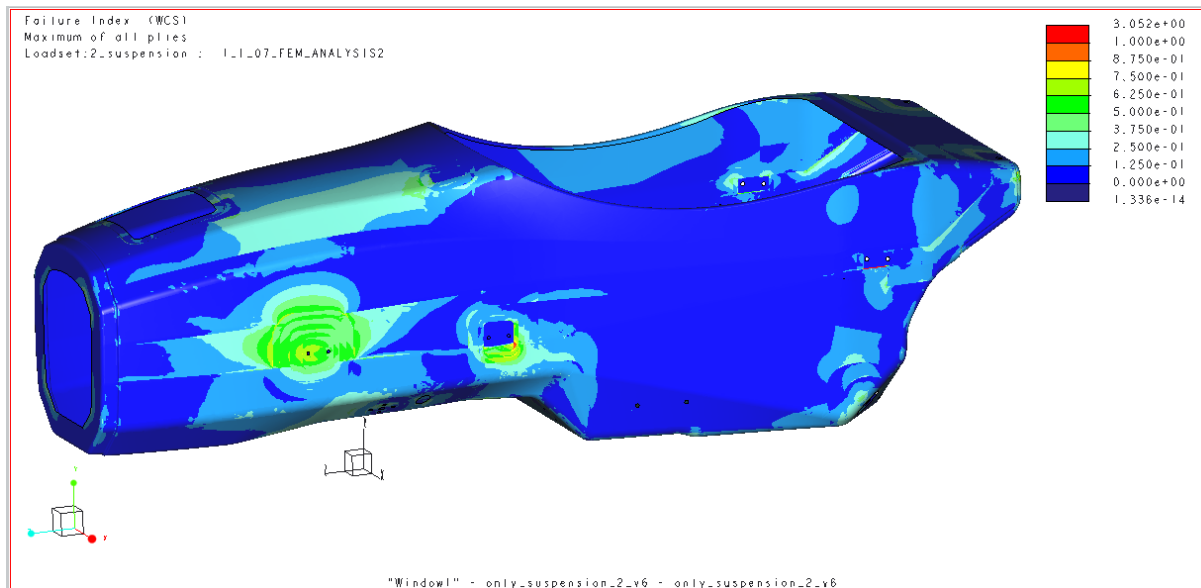


102. ábra Tsai - Wu kritérium a bal oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan nem felel még meg, az alsó részen további megerősítéseket (plusz rétegeket) igényel

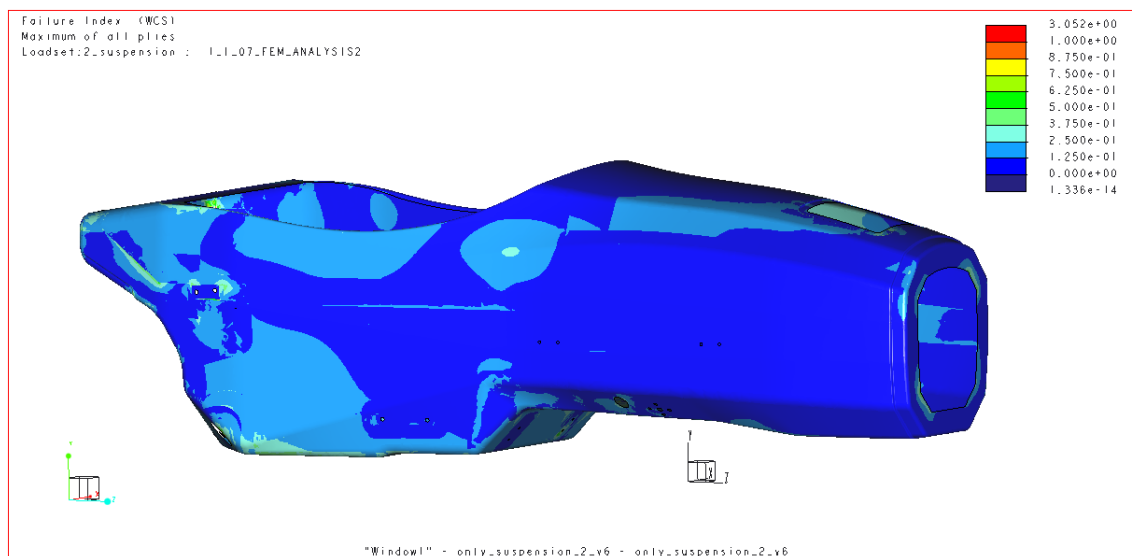
V.3.4 VÉGLEGES EREDMÉNYEK

Körülbelül 2 heti manuális iteráció után (melyet itt nem kívánunk bemutatni, mivel nem lényeges) kaptam az alábbi eredményeket, melyek már rendre mind megfelelnek, a gyártás ez alapján folyt le április végén.

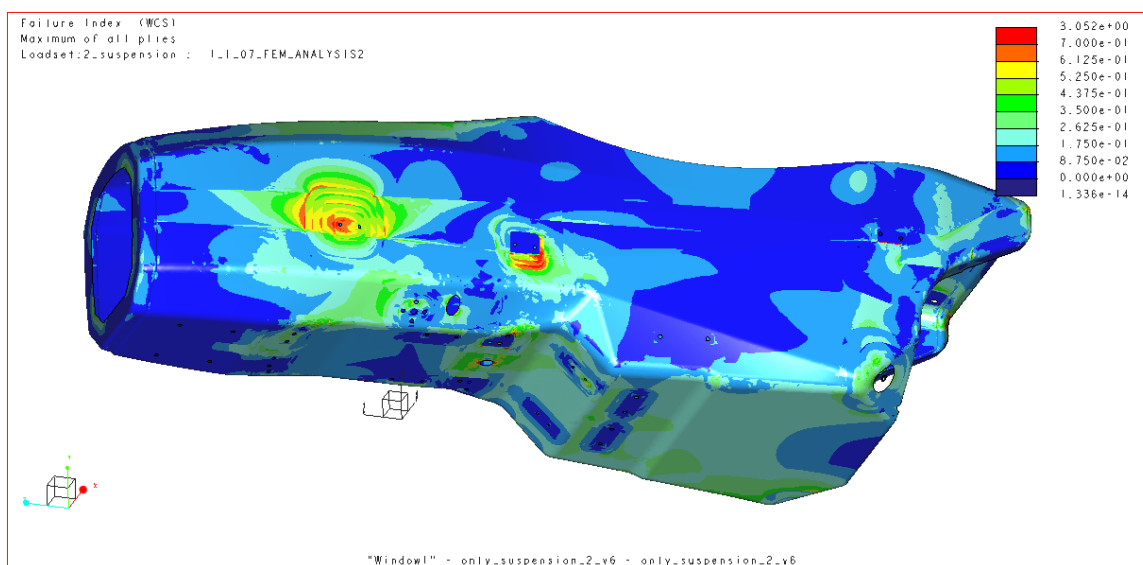
A Tsai-Wu célérték 1 alatti volt, a 0,7 volt a kritikus helyeken, de többi helyen 0,5.



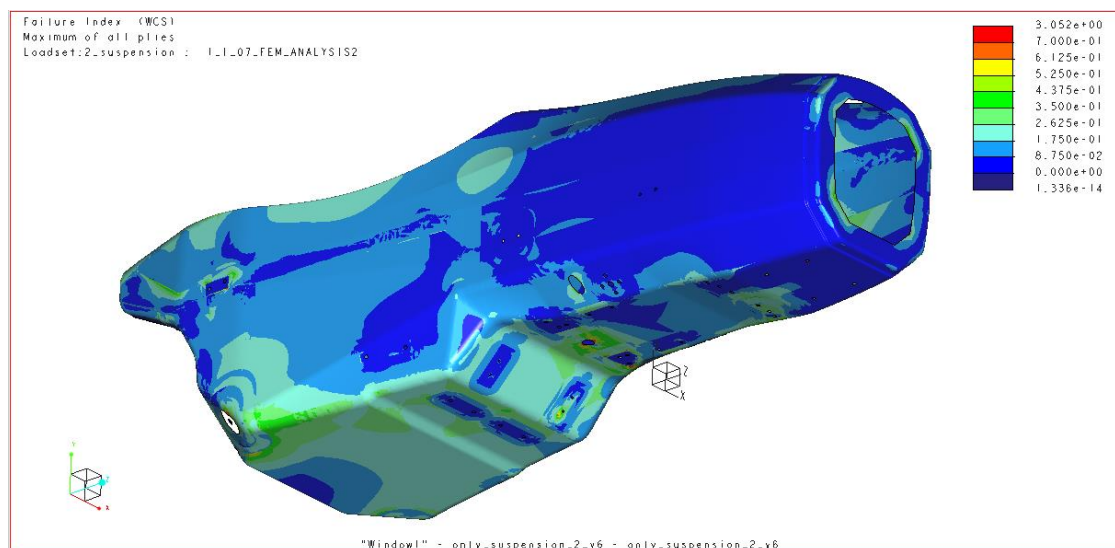
103. ábra Tsai – Wu (1) kritérium a bal oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan megfelel.



104. ábra Tsai – Wu (1) kritérium a jobb oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan megfelel.



105. ábra Tsai – Wu (0,7) kritérium a bal oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan megfelel.



106. ábra Tsai – Wu (0,7) kritérium a jobb oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan megfelel.

Ez a vizsgálat egy, a legrosszabb esetet vette alapul, amikor is az autó teljes terheléssel halad, kanyarban, fékezés közben, az egyik első keréken van csak kapcsolatban az aszfalttal, úgy hogy a többi kerék a levegőben van, és eközben kap egy 2 g-s felütést. Persze ezek így együtt nem igazán életszerűek, talán egyszer, kétszer fordul csak elő, de a legjobb mérnöki szemléletem szerint úgy gondolom, hogy ezt a szerkezetnek ki kell bírnia.

Másik biztosíték a rendszerben, hogy a karbon lengőkarok 10 kN erőre lettek méretezve, így azok a számítások szerint hamarabb törnek, de könnyebben cserélhetőek, így a monocoque alkatrészhez képest „gazdaságosan” cserélhetőek.

V.4 MÉRETEZÉS ÖSSZEFOGLALÁS

Pro/Mechanica-val készült a végelelemes számítások jelentős része. A szabályzat a biztonsági előírások miatt megkövetel egy analitikus mérés- és számítási módszert is, de ez csak a biztonságra vonatkozik, illetve érdemes ehhez is már szimulációs módszereket használni. Mi kombináltuk a mérést, számítást és a szimulációt. Kling Sándor, doktorandusz, aki egyben a Kompozit csoport vezetője és a csapat egyik pilótája, sőt a verseny idején csapatkapitány is volt, már előzőleg meghatározta a szükséges anyagtörvényeket az általunk használt unidirekcionális kelmére, a különböző sűrűségű szövetekre, valamint a maganyagra is. Ezek után a kötelező méréseket szakítógépeken végeztük el.

A pontosság érdekében, valamint, hogy ezzel is tudjunk egy keveset nyerni, a mérőgép alakváltozását is kimértük egy acélcső segítségével. Ennek a merevségét és alakváltozását könnyű számolni még analitikus eszközökkel is, mivel az anyagtulajdonságok és a geometria jól ismert. Ami eltérés a mérésnél adódik ehhez képest, az a szabályzat szerint is felhasználható korrekciós adatként a karbon-kompozit szendvicspanelek mérésénél.

A pontos anyagmodelleknek, a többszörös ellenőrzéseknek és visszacsatolásoknak köszönhetően a szabályzat által előírt mérések 99,5%-os pontossággal közelítették szimulációs eredményeinket. Ezek után a Pro/Mechanica lehetőségeit kihasználva a teljes vázszerkezetre használtuk a már meglévő anyagmodelleket és vizsgálati módszereket. Merevség és Tsai-Wu tönkremeneteli kritériumokat figyelve minimum tömegre való optimálást végeztem, ahol szabad paraméterek között volt a régiók száma, alakja, a rétegek száma, és a szénzálak orientációja. Így végül 65 különböző rétegrendű régió alakult ki 0,7-es Tsai-Wu kritérium mellett.

VI ŐSMINTA

VI.1 BEVEZETÉS

Az első lépés egy kész kompozit termék elkészítése felé a tervek, modellek elkészültét követően a termék úgynevezett ősmintájának legyártása. Ez az ősminta magában hordozza mindazt a geometriai információt, amely végül az elkészült kompozit darabot is jellemzi, vagyis ennek pontosan olyan alakúnak, és olyan felületi minőségűnek kell lennie, mint amilyen az elvárt végeredmény.

A formula monocoque váz több szempontból is különleges, és a BME FRT csapat életében az eddigi legnagyobb kihívást jelentő kompozit szerkezeti elem, mind méretét, mind összetettségét tekintve. A karosszéria igen összetett alakú, a klasszikus értelemben vett műszaki rajz nem készült róla, tekintetbe véve a felületmodellezéssel elkészített, különleges formáit. Minden információt a számítógépes 3D modell hordozott, ebből kiindulva lehetett elkészíteni az ősmintákat.

A gyártás megkezdése előtt számos gyakorlati kérdést kellett vizsgálni, amelyek pontos megválaszolása elengedhetetlen volt a sikeres gyártáshoz. Ezen kérdéseket az egyes fejezetekben részletesebben is körüljárjuk a továbbiakban.

A monocoque ősmintázás főbb kérdései:

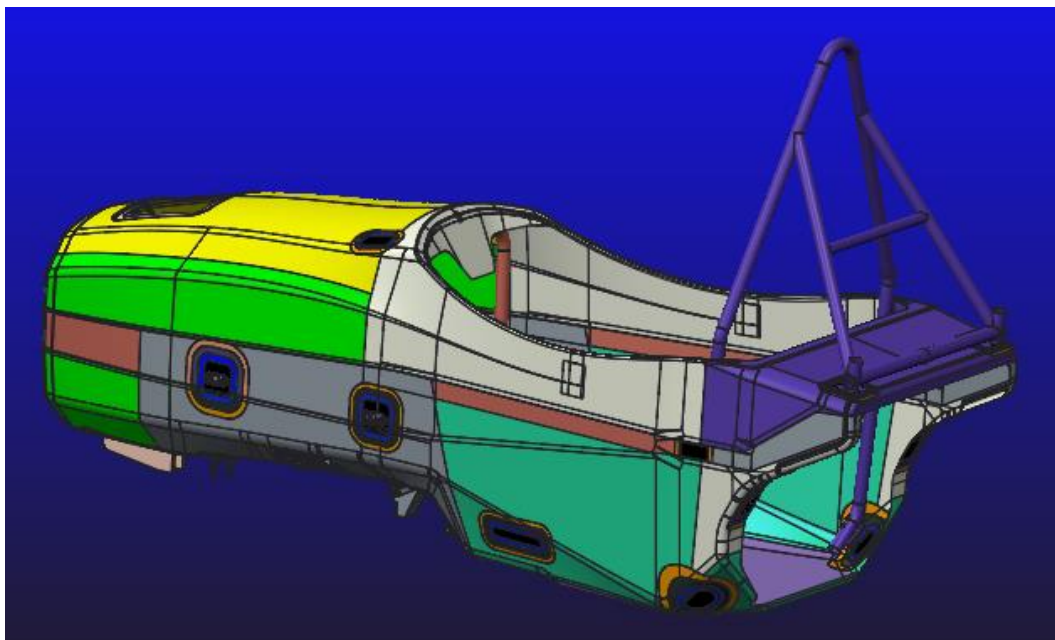
- Az ősminták alapanyaga
 - Az anyag megmunkálhatósága, kiserelése
 - A megmunkált felület minősége
 - Az anyag ragaszthatósága, felületkezelésének módjai
- Megmunkálás
 - A gyártás előkészítése (CAD, CAM)
 - A szerszám gép munkaterének mérete, teljesítménye
 - Rendelkezésre álló szerszámok
- A kész ősmintákkal szemben támasztott igények
 - Felületi minőség (fényezés)
 - Pontos geometria

VI.2 AZ ŐSMINTÁK ALAPANYAGA

Az ősminták gyártásához MDF-et, azaz Medium Density Fibreboard-ot (közepes sűrűségű farostlemez) használtunk. Ez az anyag igen jól megmunkálható, viszonylag olcsó, homogén szerkezete miatt kevésbé vetemedik, vagyis a valódi fánál sokkal megbízhatóbban használható egy ilyen, geometriai szempontból kritikus alkalmazásra. A technikailag elérhető legjobb megoldás természetesen valamilyen műfa, vagy úgynevezett szerszámblokk alkalmazása lehetett volna, azonban ezek rendkívül magas ára korlátot jelentett. Az MDF mellett szól továbbá, hogy speciális anyagokat nem igényel a ragasztása, javítása.

Az anyag hátrányos tulajdonsága, hogy porózus, ezért hajlamos az elázásra, víztől, folyadékoktól óvni kell. A megmunkált felülete (marás, fúrás, csiszolás stb... után) szőrös marad, a rostlap szálai összekuszálódnak forgácsolás hatására, és kitüremkednek a felületből. A marással elkészített felületet tehát kezelésnek kell alávetni, mert mind a gyárthatóság, mind pedig az esztétikai szempontok megkövetelik az ősminta kiváló (legalább selyemfényű) felületi minőségét.

A rostlap különböző vastagságú táblák formájában kapható, és a 2013-as szezonban kétféle vastagságot is használtunk, a jelen feladat, vagyis a monocoque ősminta elkészítéséhez 40 mm vastagot. Ez azonban egyúttal azt is jelentette, hogy a teljes darab elkészítéséhez (amelynek a befoglaló méretei mind lényegesen nagyobbak 40 mm-nél) valamilyen additív eljárással, építve kell az ősmintákat készíteni. Ez egyből felveti a ragasztás kérdését. Az egyes rétegek egymáshoz ragasztásához eleinte latex bázisú faipari ragasztóval kísérleteztünk, amit egyébként jellemzően javasolnak is erre a célra. A munka körülményei azonban sajnos nem tették lehetővé a faragasztó használatát, mivel a gyártás éppen a tél végi hideg időszakra esett, és fűtetlen helyen rendkívül lassú és bizonytalan a faragasztó kötése, ráadásul a megkötött ragasztó rosszul megmunkálható. Ennek fényében az egyébként is nagy mennyiségben rendelkezésre álló, telítetlen poliészter gyantát, és annak Butanox M50-es térhálósítóját használtuk. A térhálósodási reakció minden esetben garantáltan végbement, illetve a keverési aránnyal befolyásolni lehet annak sebességét is. A kikeményedés után a gyanta is jól forgácsolható.



107. ábra Zónák a terméken

VI.3 A VÁZ GYÁRTÁSÁVAL KAPCSOLATOS FELADAT ISMERTETÉSE

A feladat célja a gyártási folyamat megtervezése, továbbá az ősminta tervezése volt CAD rendszerben.

A gyártási folyamathoz tisztázni kellett, hogy az elérni kívánt ősmintát miképpen lehet úgy kialakítani, hogy az a térhálósodás után a szerszámból eltávolítható legyen.

A megismert és célként definiált gyártási eljárás megkívánta a modell geometriájának a szeletelését, a szeletelés lépésköze előre meghatározott volt.

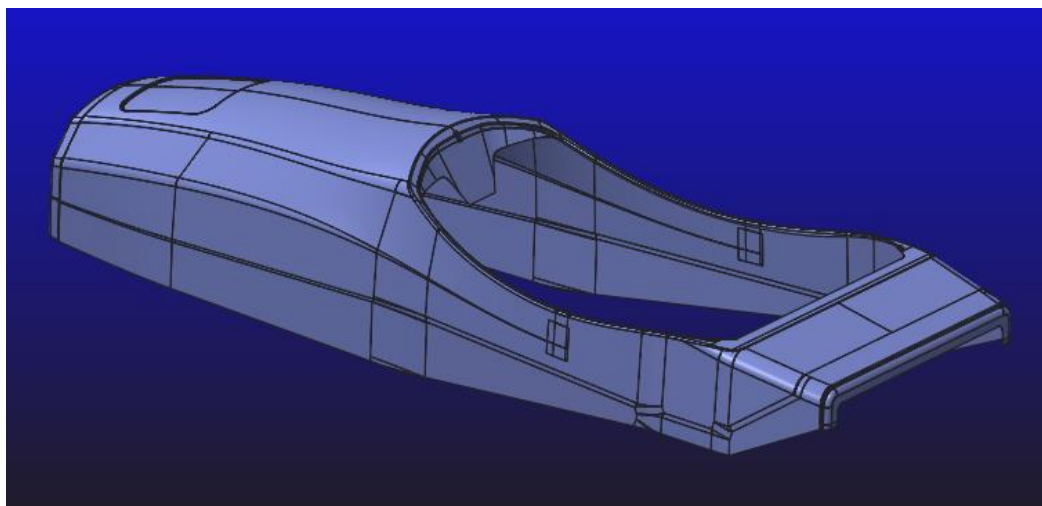
A legyártott ősmintát úgy kellett kialakítani, hogy a belőlük származtatott geometria, s így maga a kész termék eltávolítható legyen. Tehát nem bennszülött alkatrészek, hanem megfelelő osztósíkokkal ellátott felületeket kellett létrehozni. Biztosítani kell a felek illeszthetőségét, és azok megfelelő kialakítását. Ezen kihívások figyelhetőek meg a következő 2-2 ábrán:

Az alap geometria felosztása végül nem egy vízszintes osztósík mentén történt. Ennek a döntésnek egyik oka az volt, hogy már eleve a geometria egy kényszerrel biztosítson a megfelelő illeszkedéshez szereléskor.

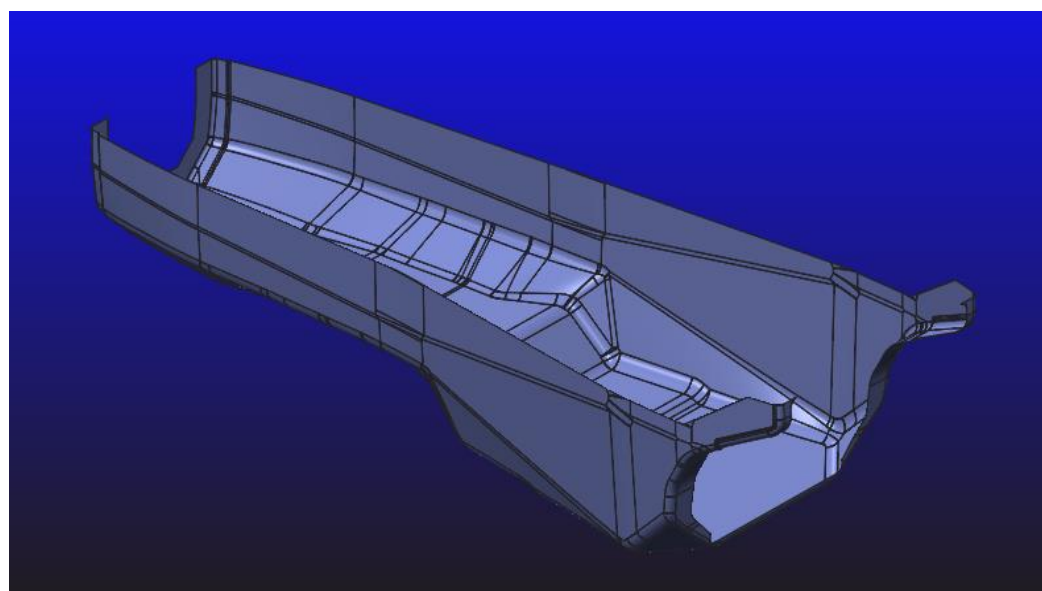
Ez azt jelentette, hogy a két kialakítandó felület két legyártandó ősmintát vont maga után. Ez nyilvánvalóan extra költséget jelentett, de ez volt a legjobb megoldás.

A CAD rendszerben megtervezett kompozit monocoque váz két félből áll össze. Ezeket két külön ősmintaként kellett elkészíteni, illetve a felületmodellezéssel kialakított geometriát szilárd testté kellett alakítani, a megfelelő ráhagyásokkal (osztósík felületek, meghosszabbítások).

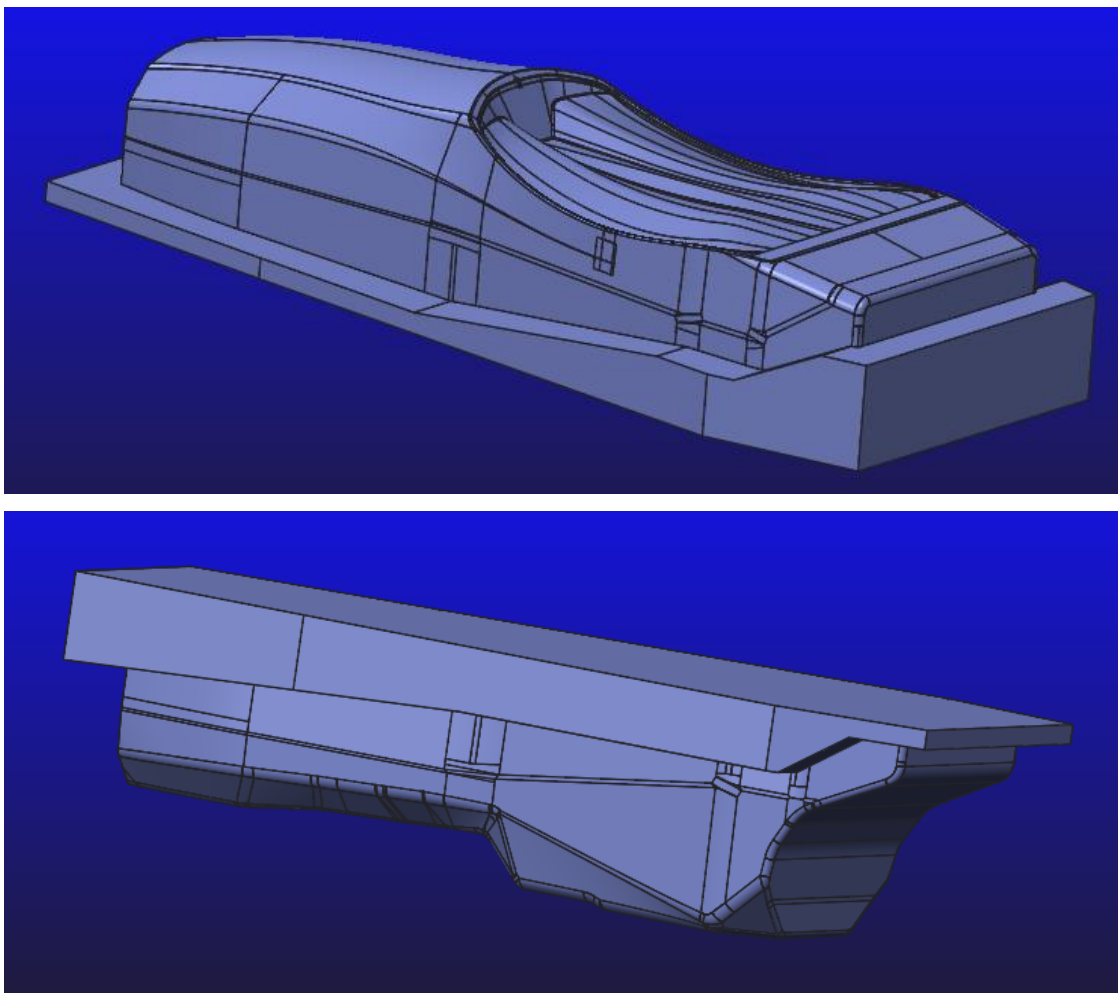
A kialakított felület felek láthatóak a következő két ábrán, a 2-3 és 2-4-es ábrákon, illetve a szilárdtest konverzió eredménye a 2-5 ábrán.



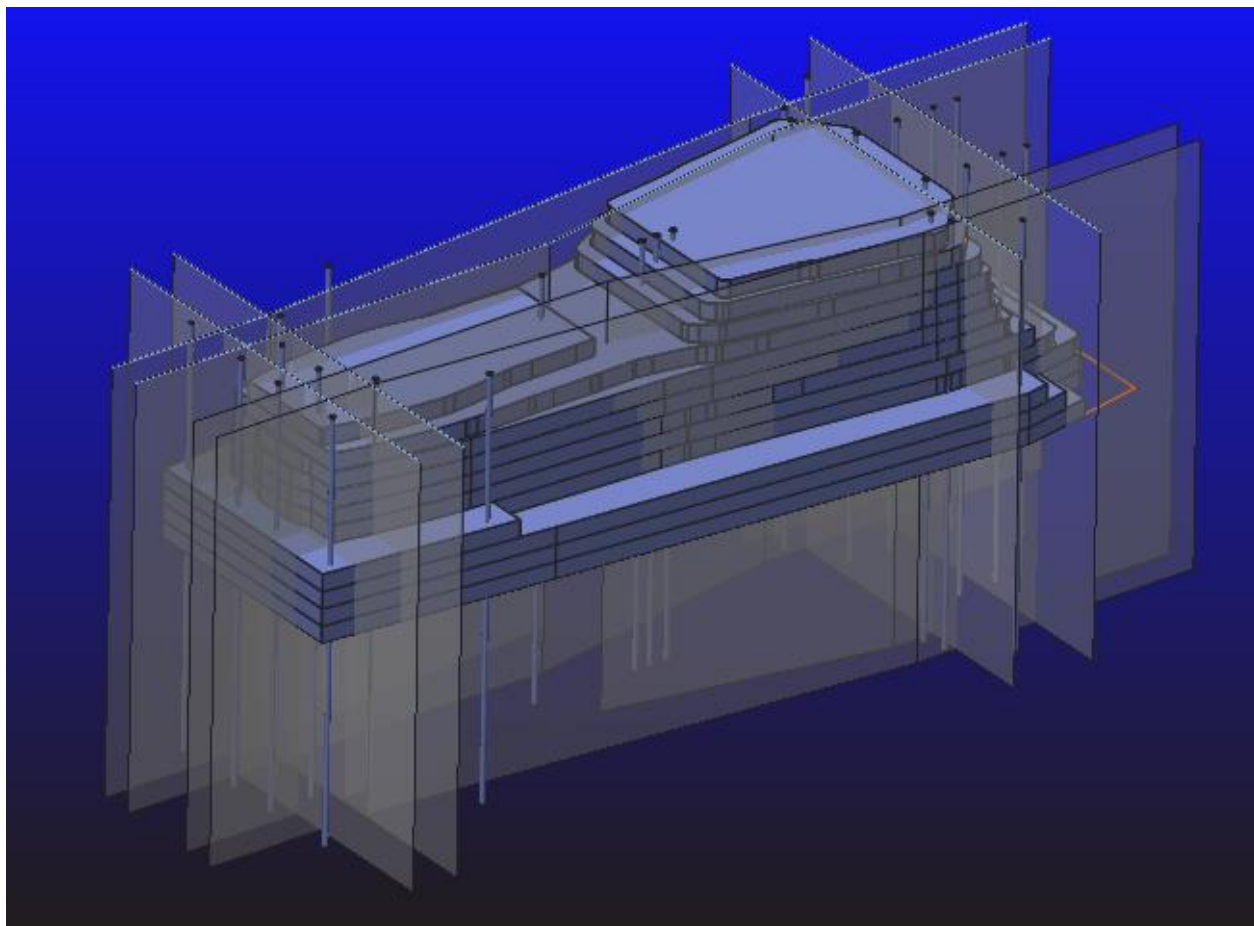
108. ábra felső felületfél



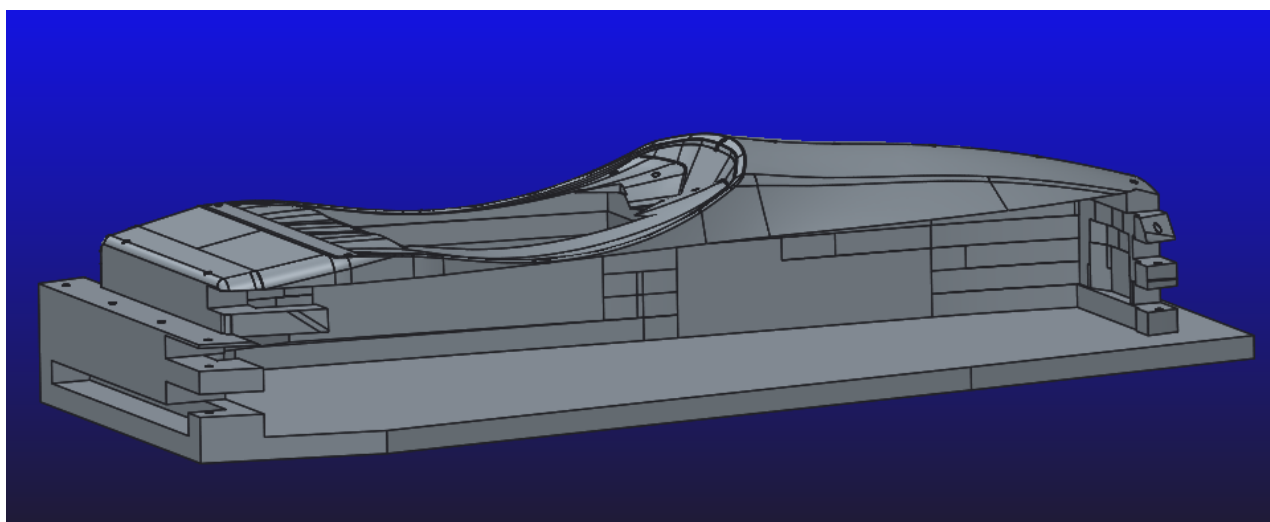
109. ábra alsó felületfél



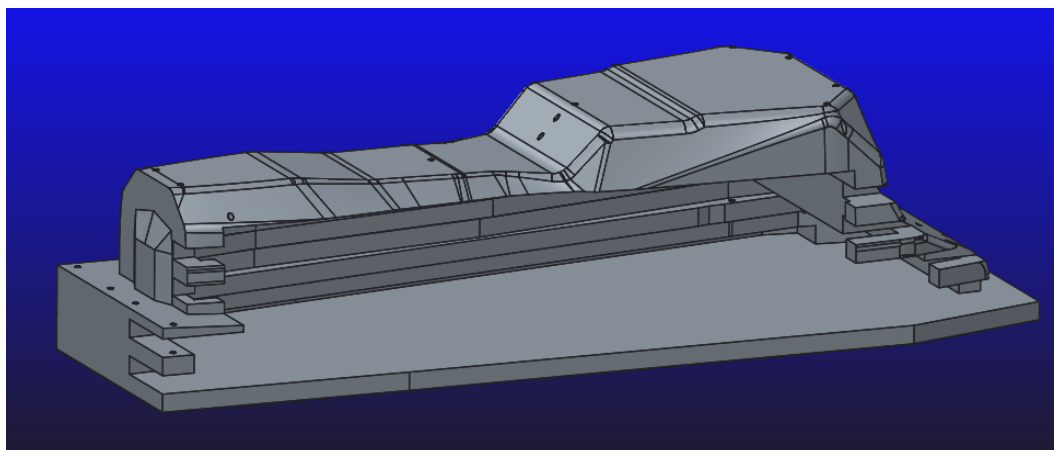
110. ábra a felületek testté átalakítás után



111. ábra A testé alakítás után MDF darabokká alakítás



112. ábra Ellenőrzésképpen az MDF darabok virtuális összeállítása, felső darab



113. ábra Ellenőrzésképpen az MDF darabok virtuális összeállítása, alsó darab

VI.4 SZELETELÉS

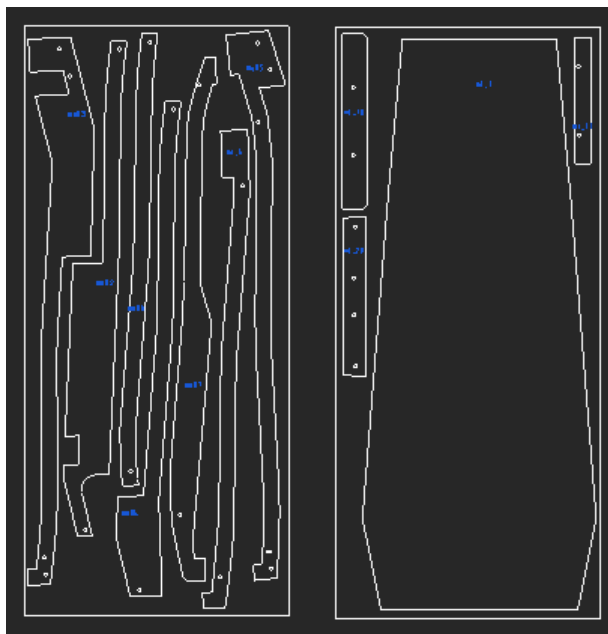
Az így létrejött felületeket a korábban technológiai eljárás peremfeltételeként definiált követelményeknek megfelelően fel kellett darabolni s a szeleteket ki kellett osztani egy MDF táblára.

Mivel igen nagy anyagmennyiséget kellett megmunkálni, és a megmunkálás időtartama is rendkívül nagy volt (az autó kompozit szerkezeti elemei közül ehhez volt szükség a legtöbb gépidőre és a legtöbb MDF-re is), ezért mindent elkövettünk annak érdekében, hogy a hibás gyártás lehetőségét minimálisra csökkentsük. A gyártást megelőző virtuális próbák láthatók a 112. ábra és 113. ábraán.

Az igen alapos előzetes ellenőrzéseknek köszönhetően a gyártás gyakorlatilag zökkenőmentesen zajlott le, annak ellenére is, hogy mind a gyártás volumene, mind az alkalmazott technológia új volt a csapat számára. A gyártás során nagy hasznát vettük a marási folyamatot támogató rajzoknak, és az eddigi, ehhez képest aprónak számító ősmintákhoz képest óriási darabokat hibátlanul el tudtuk készíteni.

VI.5 A KIOSZTÁSSAL SZEMBENI KÖVETELMÉNYEK

- Kiosztási modell
- Mindenhol megfelelő távolsággal elhelyezett és beforgatott szeletek
- Helyező furatokkal
- Alkatrész azonosíthatósága

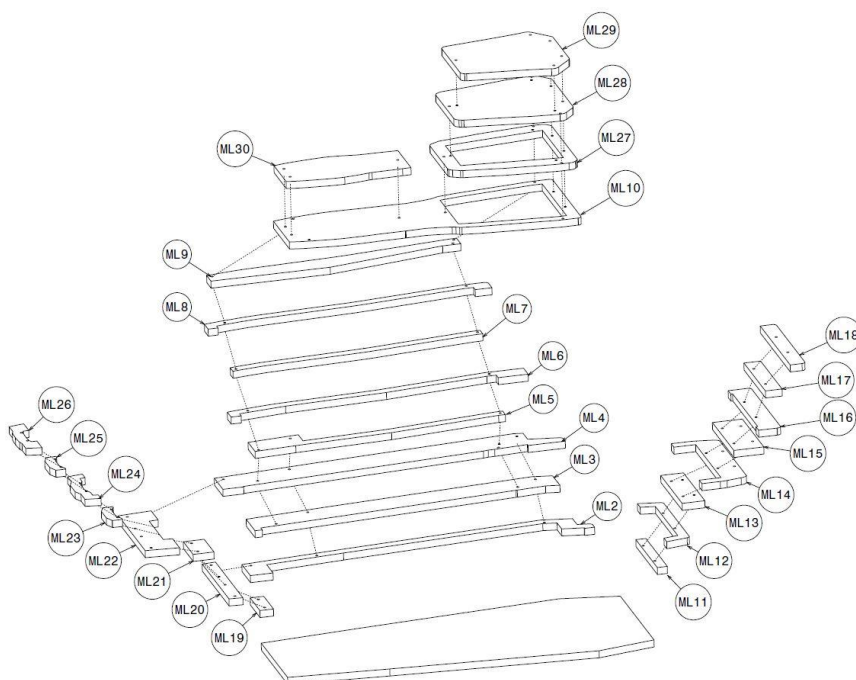


114. ábra Kiosztott szeletek

Az így elkészült szeleteket össze kellett illeszteni, ehhez természetesen szerelési sorrendterv kialakítására volt szükség. A rétegek egyenként kerültek összeszerelésre. A vezetést a már korábban feltételként bemutatott vezető csapok oldották meg.

A 40 mm vastag MDF táblákra kiosztottuk a CAD modell szeleteit, és a Flaar Boats Kft. CNC marógépén elkészítettük a monocoque ősminták összerakható darabjait. A darabok kontúrmarása mellett a pozicionálást elősegítő furatokat is kialakítottunk, amelyek nagyon hasznosnak bizonyultak a későbbiekben.

A 3D-s modelleket a CAMilleon Kft-nél használt CAM rendszerben, a PowerMill-ben betöltve, a cég professzionális segítségére támaszkodva végeztük el a pályagenerálást. A két ősmintát két egymást követő hétvégi alkalommal, darabonként mintegy 30 óra alatt építettük fel és martuk ki. Az egyes termékekhez egy igen szemléletes robbantott ábrát készítettünk el, ami egyértelművé tette a szerelést. A furatokkal pozicionálva helyükre próbáltuk az elemeket, majd poliészter gyantával egymáshoz ragasztottuk azokat. A kötési idő leteltével azonnal megkezdhattuk az adott szint marását.



115. ábra MDF rétegek összeszerelési ábrája

A marási lépések minden esetben egy nagyolási majd több simítási lépésből álltak. A nagyoláshoz egy kétlapkás nagyoló marót használtunk, simítási munkákhoz pedig egy 25 mm valamint egy 6 mm átmérőjű kétélű félgömbfejű marót. A nagyolás teraszoló eljárással, 10 mm-es fogásmélységgel történt, a simítások tipikusan 0,5-1 mm-es lépésközzel. Mindkét esetben a gép által megvalósítható közel maximális előtolási sebességgel ment a munka, lévén az MDF lágy, és a 3D maráshoz használt gép kifejezetten fémek megmunkálására készült, így rendkívüli merevség, és nagy teljesítmény jellemzi. A gyártás menete megegyezett a két minta esetében.

A készre mart darabokat a csapat műhelyében egy réteg poliészter gyantával kezeltük, annak érdekében, hogy a felület kevésbé legyen sérülékeny, valamint, hogy a fényezés során könnyebben előkészíthető legyen. A szeletek felépítése során számtalan furat maradt az ősmintában az illesztések illetve szerelések miatt, ezeket MDF porral besűrített gyantával simítottuk ki.



116. ábra összeszerelt szeletek



117. ábra Ősminta megmunkálás 3-tengelyű marógépben

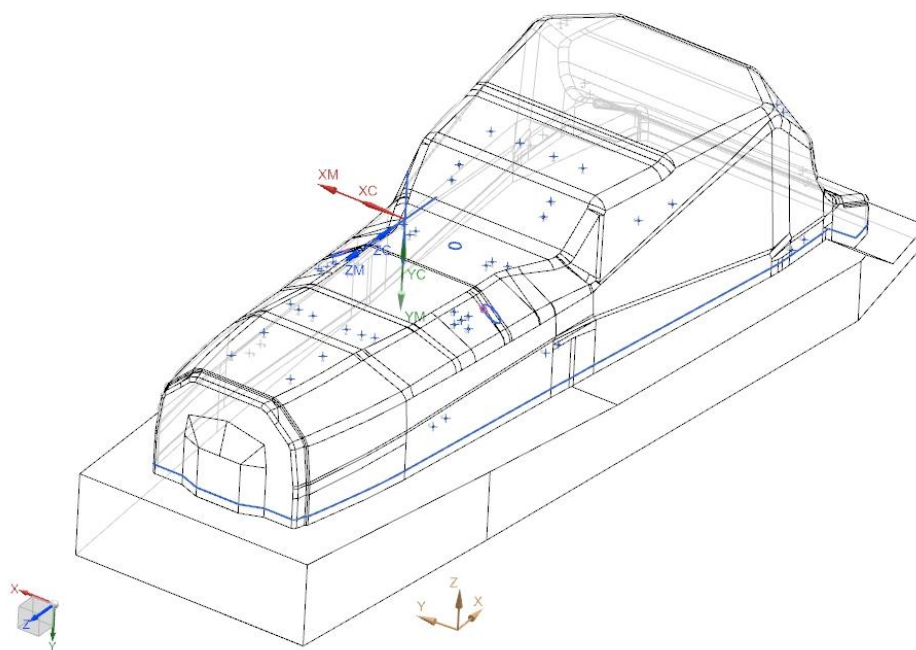
Az egyes rétegek megmunkálása szintről szintre történt, ez a folyamat látható a 117-es ábrán.



118. ábra Ragasztás a megmunkálás közben



119. ábra A fényezett ősminta (alsó fél)



120. ábra A bekötési pontok furatait tartalmazó modell



121. ábra Az elkészült futómű furatok

VI.6 A MARÁST KÖVETŐ FELADATOK

A marás befejeztét követően, illetve a glettelés, csiszolás végeztével egy autófényező műhely, az Opel Interat segítségét kértük az ősminták fényezéséhez. Itt az egyes ősmintákat egy úgynevezett töltőalapozóval kezelték, ami a felületi egyenetlenségeket eltüntette, és jól csiszolhatóvá tette az addig porózus és könnyen szőrösödő MDF-et. Ezt követően az autók fényezéséhez is használt festéket alkalmazva, kiváló felületi minőséget eredményező borítást hoztak létre. Ezzel az ősminták gyakorlatilag elkészültek, minimális utólagos kezelések, munkák maradtak csak hátra.

A váz alsó felének ősmintáján a fényezést követően egy további feladat maradt, vagyis a futómű, bukókeretek (hoopok) illetve övbekötések furatainak kialakítása. Ezek segítségével a készülő szerszámon meghatározható a beszerelendő inzertek helyzete. Nehézséget okozott azonban, hogy ezek a furatok minden létező szögben és helyzetben találhatóak, az ősminta szinte minden pontján. Ezt a munkát a Nezozen Kft. segítségével, a cég öttengelyes faipari maróján végeztük el. Mivel abban a pillanatban még nem állt rendelkezésre megfelelő fúró és befogó (alig néhány hónapja telepítették a gépet), ezért egy, a furat átmérőjénél kisebb egyenes élű maró spirális pályán történő besüllyesztésével készültek a furatok.

A furatokat tartalmazó modellen látható továbbá egy körbefutó (az ábrán kék színű) görbe, amely a késztermék szélét jelöli ki. Ezt a görbét felszerkesztettük az ősmintára, és egy karctű segítségével bele is karcoltuk azt, illetve ezt megismételtük a másik ősmintán. Ez azt eredményezte, hogy a szerszám is, illetve a késztermék is megörökölte ezt a nyomvonalat, ami az elkészült héjszerkezetek szélezését nagyban megkönnyítette, illetve az összeillesztésüket lehetővé tette. Ez az egyszerű megoldás szinte tökéletes szélezést eredményezett.

Az elkészült ősmintákat a szerszámozás elvégzésére a Flaar Boats Kft.-hez szállítottuk.

VII SZERSZÁM

VII.1 A KOMPOZIT SZERSZÁMOKRÓL ÁLTALÁNOSSÁGBAN

A szerszám egy olyan tárgy, amely a még képlékeny erősítőanyag-mátrixanyag keveréknek előre definiált formát ad, és fenntartja addig, amíg az adott alkatrész méretstabil lesz.

A szerszám a termék készítésének folyamatában valahol középen helyezkedik el a terméket megformázó ősminta után és maga a termék között. Tulajdonképpen a szerszám a termék és az ősminta inverze. Feladata, hogy a segítségével a legpontosabban el tudjuk készíteni a terméket.

A szerszám felhasználási területei függvényében tudjuk megválasztani a szerszám anyagát. Például egy nagy sorozatban gyártott alkatrész szerszámát célszerű olyan anyagból készíteni, amiből megfelelő mennyiségű terméket tudunk előállítani anélkül, hogy újat kelljen készíteni. Ilyen esetben szóba jöhet acél, alumínium, kerámia és szénzálas kompozit is.

A szerszám anyagának megválasztásakor az is befolyásoló tényező, hogy az általa gyártott terméknek mennyire kell méretpontosnak lenni. Például nem mindegy, hogy a szerszámból egy üvegszál erősítésű csúszdát kell eltávolítani, vagy egy olyan repülőgép alkatrészt, aminek a tűrése századmilliméter nagyságrendű. Pontosság szempontjából a lehető legjobb eredményt a fém szerszámokkal tudjuk elérni. Ezeket jellemzően marással állítják elő. Ez a szerszámkészítési technológia a legköltségesebb, így kis termékszám esetén csak olyan esetekben használnak, mint a repülőgépgyártás, Formula 1, luxusautó gyártás.

Nagyobb termelés mellett már megtérülhet egy fém vagy kerámia szerszám használata, mivel egy szerszámmal akár több ezer terméket lehet gyártani. Fém szerszám esetén, ha a termék paraméterei engedik, akkor akár javítással az elvégezhető termékgyártási ciklusok száma megsokszorozható.

Olyan prototípusgyártás esetén, mint amilyen a BME Formula Racing Teamnél is történik, nem feltétlen szükséges, hogy fém szerszámokat használjunk. Ez a gyártott alkatrészek száma miatt sem indokolt, valamint a mi általunk használt tűrések sem követelik meg. Idén egyedül a kormány készült mart alumínium szerszámban, amely gyártási technológiája miatt (prepreg használata) lehetővé tette, hogy kihasználjuk a szerszám adta lehetőségeket, és a lehető leginkább méretpontos terméket hozzassuk létre. Ezen a szerszámon kívül a monocoque szerszámát is beleértve kizárólag üvegszál erősítésű kompozit szerszámokat használtunk.

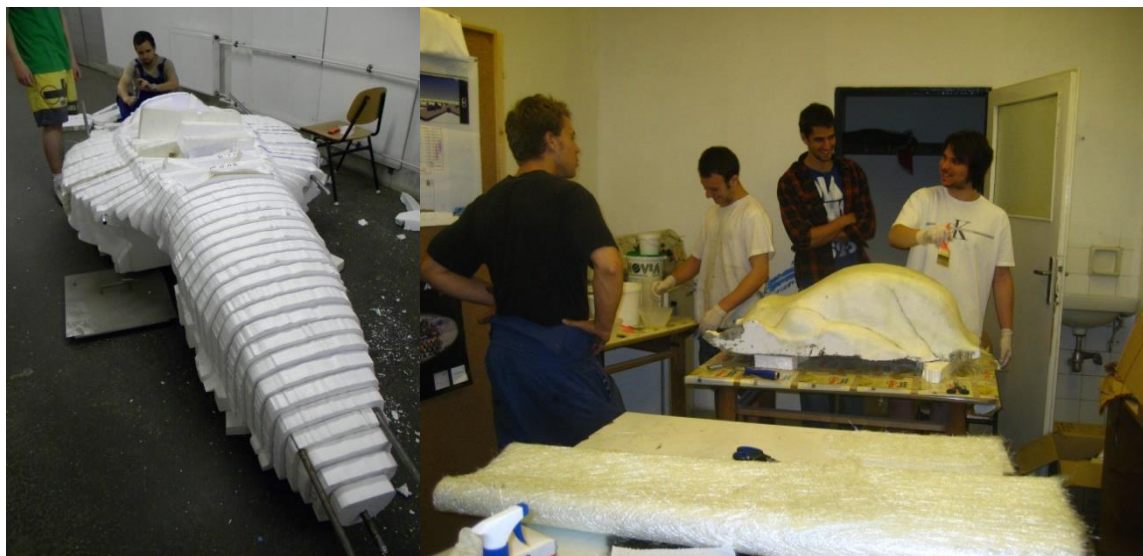
Kompozit szerszámok alkalmazása tipikusan prototípusgyártásnál megszokott. Ezen belül is a legpontosabb a prepreggel készülő szénzálas változat. Ez azonban nagyon költséges, ezért kevés esetben alkalmazzák. Ezzel szemben sokkal elterjedtebbek az üvegszál erősítésű kompozit szerszám. Ezek

a szerszámok kevésbé méretpontosak, de kis számú sorozat esetén jó minőségű termék készítésére alkalmasak. Az ipar egyes területein, ahol a túrések engedik akár több száz vagy akár ezer terméket is lehet venni egy jól elkészített kompozit szerszámról. (Természetesen, ha karban van tartva, illetve a hibái javításra kerülnek.)

VII.2 FRT SZERSZÁM TÖRTÉNELEM

Ahogy a motorsportban is egyre nagyobb teret kapnak a polimer kompozitok, a BME Formula Racing Team esetében is megfigyelhető ez a folyamat.

A csapat 2007-es alakulása után az első autóban mindössze a külső burkolat, az ülés, a kormány és a lengőkarok voltak polimer kompozit alkatrészek.



122. ábra A 2010-es ősminták az FRT őskorszakában

A 2011-ben készült elektromos autó burkolata a nem éppen versenyautókon használt üvegszövet erősítésű poliészter gyantából készült. Ehhez a szerszámot kézzel hajlított acéllemezekből készítettük el. Ennek egyik oka a legköltséghatékonyabb megoldás alkalmazása volt, illetve az, hogy ezeknél az elemeknél nem volt szükség igénybevételekhez igazodó méretezésre.

Az acéllemezből készült szerszámokat a 2012-es autó építése során is sok esetben használtuk. Ezek elkészítése során glett alkalmazásával igyekeztünk a hajlítások pontatlanságát ellensúlyozni. Ekkor már méretezett alkatrészeket is készítettünk ilyen szerszámokkal. Az egyik ilyen elem az autó

akkumulátorának doboza volt. A fémlemezről hajlított szerszámok nagy hátránya az volt, hogy a szerszám leválasztása során szinte kivétel nélkül használhatatlanná váltak egy újabb laminátum levételére.

Ebben az évben már elkezdtek alkalmazni azt a minimum három lépéses gyártási menetet, amiben először elkészítünk egy ősmintát, amiről leveszünk egy üvegszálak poliészter szerszámot, amit aztán később akár többször is tudunk használni. Az egyik ilyen szerszám az ülés szerszáma volt. Ez egy olyan szerszám, amelynél ténylegesen ki tudtuk használni azt, hogy többször is lehet laminálni a szerszámba, mivel ebben az évben egyaránt készült egy benzines és egy elektromos autó, és minimális eltéréssel ugyanaz az ülés kellett mindkettőbe.

2013-ban a karbon kompozit alkatrészek 90%-a a monocoque-nál is alkalmazott gyártástechnológiával készültek. (Id. még a gyártási lépéseknél)

VII.3 FELHASZNÁLT ANYAGOK:

VII.3.1.1 ERŐSÍTŐ ANYAG:

Erősítő anyagnak vágott szálú üvegpaplant használtunk. Mivel mátrixanyagnak poliészter gyantát használtunk így ez ideálisabb és olcsóbb választás volt, mint ha üveg szövetet használtunk volna. Az általunk használt paplan úgynevezett porkötésű üvegpaplan volt, amely előállítási technológiája során a kb 50mm hosszúra vágott szálakat por alapú ragasztóval ragasztották össze. Ez a poros ragasztás lehetővé teszi, hogy a méretezéskor meghatározott mennyiségnek megfelelő üvegpaplant helyezünk el az adott felületre. A porkötésű üvegpaplan azon túl, hogy könnyebben darabolható az emulziós üvegpaplannál, még azért is nagyon hasznos, mert a szálak ragasztásához használt por a kézi laminálás során a poliészter sztiroltartalmának hatására feloldódik, ezáltal a paplan „szálakra esik” és könnyebben átimpregnálhatóvá válik.

A gyártás során 300 illetve 600g/m²-es paplanokat használtunk. Az alkalmazott paplan típusa: **M123**.

Fontosabb technikai adatok és szabványok:

Tömeg [g/m ²]	Izzítási veszteség [%]	Nedvességtartalom[%]
ISO 3374: 2000	ISO 1887: 1995	ISO 3344: 1997
225 ± 20%	4.5 ± 40%	0,2
300 ± 20%	3.5 ± 40%	
450 ± 20%	3.2 ± 40%	

Vizuális tulajdonságokkal vagy esetleges hibák

- Kötetlen élek
- Lyukak (> 40 mm)
- Szennyeződés foltok (>5 mm)
- Bontatlan szálak
- Szálfelhalmozódás (> 40 mm)

Minden 100m² paplan legfeljebb hatot tartalmazhat a felsorolt hibákból.



123. ábra Üvegpaplan

VII.3.2 **MÁTRIXANYAG:**

Az üvegszál erősítés miatt a mátrixanyag választás során poliészter gyantát használtunk. Mivel fontos volt, hogy a termék méretpontos legyen, így olyan gyantát választottunk, amelyet kifejezetten szerszám készítésre használnak. Ezeknek a gyantáknak százalékosan nagyon alacsony a zsugorodása, közel 0%. A gyanta további hasznos tulajdonsága, hogy alkalmas nagyobb rétegszám felvitelére. Ez annyit tesz, hogy egy korábban közel teljesen térhálósodott rétegre nagyon jó adhéziós tényezővel tudjuk felvinni a további rétegeket. Ezzel meg tudjuk akadályozni a túlzott gyanta felhalmozódást és a gyártás során csökkenthetjük a hőképződést. A hőképződést csökkenthetjük a katalizátor mérséklésével, ami azonban a térhálósodás időtartamára lesz negatív hatással, illetve csak szűk tartományban változtatható.

VII.4 NEM ILLÓ ANYAG TARTALOM (ICON 003)	72-74%
Tűzállóság	tűzveszélyes
Sűrűség	1,44-1,48 g/cm ³
Megjelenés	bézs folyadék
Gélidő (ICON 002) (20°C – 1ml But M50-100g gyantához)	35-45 perc
Exoterm hőcsúcs (20°C – 1ml But M50-100g gyantához)	110-130 °C
Brookfield viszkozitás (ISO 2555 -20°C – sp4), 100 rpm	1100 - 1350 mPa.s
Nem illó rész	72 - 74%

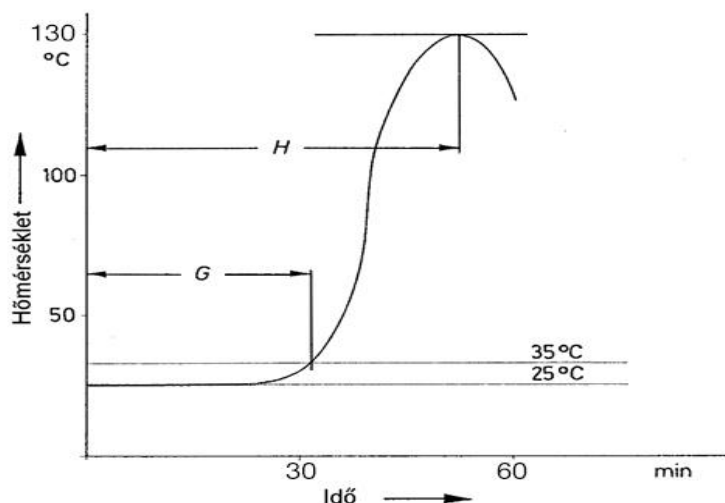
A térhálósodott gyanta mechanikai tulajdonságai:

A mechanikai méréseket 4 réteg, 450 g/m² üvegpaplannal erősített laminátumon végezték, 3 óra, 80 °C –os hőkezelés után

VII.4.1 HDT HŐMÉRSÉKLET	80°C
Szakítószilárdság*	84,4MPa
Szakadási nyúlás*	2%
Hajlítószilárdság*	155,8MPa
* a teszt 23% üvegtartalomra érvényes	

G: gélesedési idő

H: Térhálósodási idő



124. ábra A telítetlen poliészter térhálósodásának exoterm hőeffektusa

Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: A polimertechnika alapjai

VII.4.2 **GELCOAT**

A szerszám felhasználása során a gelcoat minősége nagyban meghatározza a szerszám minőségét és élettartamát. A lehető legjobb minőség elérése érdekében kifejezetten szerszámgyártásra alkalmas és ajánlott gélrt használtunk. A választás során azt is figyelembe vettük, hogy kézi laminálással kell a gélrt felvinni, valamint hogy a későbbiekben a laminátokat poliészter gyantával impregnáltuk át, ezért kenhető poliészter alapú gyantát választottunk. A gélrt szemben támasztott legfontosabb tulajdonságok egy szerszám esetén a megfelelő keménység és a termék eltávolításánál fellépő igénybevételekkel szembeni ellenállóság. Ezek a tulajdonságok teszik lehetővé, hogy egy szerszámról többször is le lehessen választani terméket. Ezen felül a térhálósodott gelcoat felülete kedvező a termék leválasztása szempontjából.

Fontos megjegyezni, hogy a gelcoat felvitele után legkésőbb 3 órán belül el kell kezdeni az üvegpaplanok laminálását, mert később nagy mértékben romlik a adhézió a két réteg között.

Fontosabb technikai adatok és szabványok:

Tixotropikus erő(telítetlen poliészter gyanták) VLN 236:

	[mPAs]
Dinamikai viszkozitás 50	6900-7900
23 ° C-on, 5	
Dinamikai viszkozitás 1	100000-116000

23 ° C-on, 5	
--------------	--

Gélidő (UP-gyanták) DIN 16945 / 6.3.1.2

	perc
Gélidő	18-25
2% MEKP (33%) 20 ° C	

Sűrűség (folyadékok) VLN 067

Sűrűség :1,12[g / cm ³] (20 ° C)

Lobbanáspont DIN EN ISO 1523

Lobbanáspont: 34[° C]

Nem illó rész: 64 - 68%

VII.4.3 KATALIZÁTOR

Katalizátornak dimetil- ftalátban oldott metil-etil-ke-ton-peroxidot (MEKP) használtunk. Ez egy színtelen kissé kellemetlen szagú folyadék, amely felgyorsítja a poliészter gyanta térhálósodását.

VII.4.4 PÓRUSTÖMÍTŐ

Pórustömítőnek a Marbocote RS415 ECO-t használtunk, amely egy színtelen enyhe szagú folyadék. Felhasználhatóság területén univerzálisnak tekinthető, mivel fém, poliészter, vinilészter és epoxi szerszám esetén is használható. Feladata, hogy a poliészter szerszámon található mikropórusokat lezárja, ezáltal megakadályozza a szerszámból a sztirol kipárolgását, kisebb felületi hibák(karcolások) javítására is alkalmas és emellett magassfényű felületet biztosít a szerszámnak. Felvitele 100% pamut törlőkendővel történhet, és amennyiben új a szerszám legalább 12órás pihentetés szükséges. Egy réteg vastagsága a szokásosan használt pórustömítők nyolcszorosa.

VII.4.5 FORMALEVÁLASZTÓ

Formaleválasztásra az iparban elterjedt FORMULA FIVEMold Release Wax-t használtunk. Ez egy viaszoldat alapú formaleválasztó, szénhidrátokkal és szilikonnal keverve. Alkalmazása során új szerszám esetén ajánlatos 4-5 réteg felvitele, a későbbi leválasztások során ezt lehet mérsékelni. A felvitelt minden

esetben pamut ruhával végezzük, és a felvitelek között megfelelően vissza kell törölni a felületet, hogy a felesleges viaszréteg ne halmozódjon fel.

VII.5 GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA, GYÁRTÁS LÉPÉSRŐL-LÉPÉSRE

Miért a kézi laminálás technológiáját választottuk a szerszám elkészítéséhez?

A kézi laminálással készült szerszámok használata az iparban is elterjed. Ennek fő okait előnyeiben kell keresnünk.

Berendezési, szerszám és alapanyag költsége is viszonylag alacsonynak mondhatóak. Emellett méret és geometria szempontjából is tág határok között mozoghatunk. Méret szempontjából az alsó határ a kritikusabb. A szerszámon kialakíthatunk alámetszéseket (természetesen azzal a kikötéssel, hogy a termék a gyártás után eltávolítható legyen) illetve elhelyezhetünk furatokat és inzertereket is. Ezeket a lehetőségeket a monocoque szerszámánál ki is használtuk a futómű bekötési pontok pontos elhelyezésének megjelölésekor.

Természetesen a technológia negatív tulajdonságait is figyelembe kellett vennünk. Fő negatívum, hogy minőségi terméket létrehozni megfelelő tapasztalattal rendelkező szakemberek nélkül nem lehetséges. Még ilyen esetekben is számolni kell azzal, hogy pórusok és kisebb légzárványok maradnak a termékben, amelyek rontják a termék mechanikai tulajdonságait. Üvegpaplan használata esetén a száltartalom megközelítőleg 20-30%-os lehet, ezt az arányt üvegszövet használatával 50%-ig növelhetjük. Ezekből az adatokból is látszik, hogy mechanikai tulajdonságait tekintve nem lesz kiemelkedő a gyártmány. Jellemzően ezt az eljárást csak kis szériaszám esetén alkalmazzák, mivel a térhálósodási időn kívül is meglehetősen időigényes a folyamat.

VII.5.1 ŐSMINTA ELŐKÉSZÍTÉSE

Az ősminta fényezése után minimum 12 órát pihentetni kell a felületet, majd ez idő elteltével acetonnal letisztíthatjuk. Erre azért van szükség, hogy a később felvitt pórustömítő és formaleválasztó rétegek megfelelően tapadjanak a felülethez, és minél jobb legyen a hatásfokuk. A fényezés anyaga megengedte az aceton használatát, mivel nem tartalmazott olyan összetevőt, amelyet az aceton kioldott volna. Olyan esetben ahol aceton oldja a felület bevonatát, célszerű aceton mentes tisztítószerrel választani. A tisztítószerez áttörés után száraz pamutkendővel is át kell törölni a felületet.

1. Pórustömítő felvitele

A korábban ismertetett pórustömítőt a lehető legjobb hatás elérése érdekében három lépésben visszük fel. A felvitelhez pamut törölkendőt használtunk, amelyet teljesen átitatunk a pórustömítővel, majd egyenletesen felhordjuk a felületre. Olyan nagyobb felületek esetén, mint a monocoque szerszáma célszerű a felületet kis könnyen lekezelhető területekre osztani, hogy mindenhova egyenletesen tudjuk felvinni a pórustömítőt. Az első réteg felvitele után 20 perc pihentetés után felvihetjük a következő réteget. További rétegek felvitelekor az első réteghez hasonlóan kell eljárni. A pórustömítés után legalább 12 órát pihentetni kell a szerszámot.

VII.5.2 FORMALEVÁLASZTÓ FELVITELE

A 12 óra várakozási idő után felvihetjük a formaleválasztó első rétegét. Ilyenkor elég portalanítni a felületet, nem szükséges tisztítószer használata. Ha mégis használunk, figyelünk kell, hogy semmiképpen se tartalmazzon olyan összetevőt, amely oldja a pórustömítőt, valamint nem szabad dörzsölő, polírozó mozdulatokat alkalmazni. A viaszos formaleválasztó felvitele annyiban egyszerűbb, hogy a viasz látszódik a felvitt felületen, így könnyen ellenőrizhető, hogy a teljes felületet lekezeltük. A felvitel után 5 perccel, miután a viasz réteg megszáradt, egy tiszta pamut törölkendővel eltávolítjuk a felesleget. Itt is ügyelnünk kell arra, hogy ne dörzsöljünk vagy polírozzuk a felületet. Az eltávolítás után még 10-15 percet kell várnunk a következő réteg felviteléhez. A monocoque szerszám esetén ezt a műveletet háromszor végezzük el. Az utolsó réteg felvitele után a gelcoat felvitele előtt a visszatörlés után célszerű 20 perces száradási időt hagyni.

VII.5.3 GELCOAT FELVITELE

Első lépésként a színtelen poliészter gyantát színezőpaszta segítségével beszínezzük. Ilyenkor fontos, hogy a gyanta színe különböző legyen az ősminta színétől, hogy a felvitel során jól látható legyen, hogy mennyire fed be az ősmintát. Az ajánlott rétegvastagság 0,4-0,7 mm. Ezt a vastagságot két réteg felvitelével érhetjük el. Az első réteg felvitele után meg kell várnunk, amíg a gél megfelelő mértékben térhálósodik. Ez függ a katalizátor adagolási arányától. Ilyenkor célszerű egy kicsit „gyorsabbra” keverni a gyantát, hogy minél előbb fel tudjuk vinni a következő réteget.

VII.5.4 ÜVEGPAPLAN DARABOLÁSA

Mialatt a gelcoat térhálósodik, van időnk megfelelő méretűre darabolni az üvegpaplant. A porkötésű paplant kézzel is tudjuk darabolni, amivel sok időt tudunk spórolni.

VII.5.5 VÁGOTT SZÁLAK FELVITELE A RÁDIUSZOKBA

A gelcoat térhálósodása után a rádiuszokba kis, maximum 1cm hosszú úgynevezett „vágott üvegszálat” impregnálunk. Ez azért fontos, mert így érhető el hogy a rádiuszokban is megfelelő legyen a szál-mátrix arány, amely nagyban befolyásolja a szerszám mechanikai tulajdonságait. Illetve ha a rádiuszokban nincs megfelelő „alátámasztás” a gelcoat alatt, akkor könnyen betörhet, ami miatt akár használhatatlanná is válhat a szerszám.

VII.5.6 RÉTEGEK IMPREGNÁLÁSA

A vágatok felragasztása után elkezdhetjük az üvegpaplanok felhelyezését. Elsőként két 300g/m²-es réteget impregnálunk a gelcoatra. Ekkor elsőként a még üres megszilárdult gelcoat felületét kenjük át vékonyan a poliészter gyantával. Ez azért szükséges, hogy a felhelyezett paplanok a helyükön maradjanak, illetve nélkülözhetetlen olyan esetekben ahol függőleges oldalra is laminálunk. A felhelyezés után a teljes felületen átimpregnáljuk a paplant. Ezek után megismételjük ezt még egy 300g/m²-es és 4 600g/m²-es réteggel. A gyártás során ügyelni kell arra, hogy ne alakuljanak ki olyan területek ahol felhalmozódik a gyanta. Ez a mechanikai tulajdonságok romlása mellett a hőképződésre is rossz hatással van, és akár öngerjesztő módon meg is gyulladhat.

VII.5.7 MEREVÍTÉS

Ha végeztünk a laminálással, a megfelelő merevség érdekében fából kivágott falemezekből merevítéseket helyezünk el a szerszámon. Ezeket mindig az adott szerszám geometriájához igazítjuk. Nagy felületek esetén a behúzódás ellen a teljes felületre lapjával ragasztjuk fel a fa merevítőket. Abban az esetben, ha a teljes szerszám merevségét szeretnénk növelni, akkor elég, ha a megfelelő helyeken megtámasztva egy fa keretet építünk és ragasztunk köré.

VII.5.8 ELTÁVOLÍTÁS

A gyártások során kiderült, hogy a pórustömítés és a formaleválasztós kezelés ellenére sem lehet maradéktalanul leválasztani a szerszámot az ősmintáról. A probléma abból is adódott, hogy az esetek 90%-ban az ősminta pozitív szerszáma volt a rálaminált üvegszálalás terméknek(amit később szerszámnak használtunk), ami így rázsugorodott(a közel 0%-os zsugorodású poliészter ellenére), ezzel is nehezítve az

eltávolítást. Mindezek azt eredményezték, hogy korábban több termék készítésére is alkalmasnak vélt ősminták az esetek döntő többségében (a monocoque szerszám esetében is) egyszer használatosak lettek. Az eltávolítás során első lépésként a szerszám szélein fa ékek beverésével próbáltuk a szerszám és a termék falát eltávolítani egymástól. Miután ez részben sikerült, víz befecskendezésével gyakoroltunk nyomást a szerszámra és az ősmintára. Ezek után az ékek további beverésével sikerül a szerszámot leválasztani az ősmintáról.



125. ábra Elkészült szerszámfelek

VII.5.9 SZÉLEZÉS

Szélezés során a gyártáskor elkerülhetetlen, a szerszám használatát viszont megnehezítő „túllógást” távolítjuk el a szerszám pereméről. Ez egyrészt azért is fontos, mert ezekről a helyekről a gyártás során törmelékek kerülhetnének a szerszámba, másrészt az itt levő gélréteg vékonyabb, és ezáltal könnyebben berepedhet, amely a szerszám hasznos felületéig is könnyen eljuthat, amely tönkretetheti a szerszámot.

VII.5.10 ILLESZTÉSEK ELKÉSZÍTÉSE

A szerszámgyártás utolsó lépéseként elkészítettünk egy illesztőperemet az alsó szerszámfélre. Erre azért volt szükség, mivel a két szerszámelem átfedésben illeszkedik egymáshoz. Acetontos tisztítás után oldalanként egy méretre és alakra vágott szilikon csíkot rögzítettünk ragasztással az alsó szerszám belső felületére az osztósík mentén. A két héj külső felületének egymástól való eltolását a felső héj előzetesen számolt falvastagságából határoztuk meg, így megkaptuk, hogy milyen vastagságú szilikon rétegre van szükségünk. Ezt FBS hidegen térhálósodó egykomponensű ecetsav bázisú szilikon ragasztóval rögzítettük

a szerszám felületén. Megszilárdulás után ez tartós rugalmas kötést biztosít, és ami számunkra különösen fontos tulajdonsága a ragasztónak, hogy függőleges felületen történő ragasztáskor sem folyik meg 1 cm vastagságig.

Anyagválasztás során azért a szilikonra esett a választásunk, mivel az illesztőperem beiktatásával egy geometriailag alámetszett szerkezetet kaptunk, ami a termék eltávolítását nem tette volna lehetővé a szerszám tönkretétele nélkül. A szilikon jó deformálhatóságának köszönhetően megoldást jelentett a problémára, hiszen a szétválasztáskor a termék kilazításával és a ragasztás feltörésével a szilikon csíkok egyszerűen kivehetővé váltak. Így egyrészt megszűnt az alámetszés, másrészt a felfekvő felületek mérete csökkent, valamint a terméken is nagyobb fogást tudtunk venni a kivételkor.

VIII GYÁRTÁS

VIII.1 GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA MEGVÁLASZTÁSA

A megfelelő gyártástechnológia kiválasztása különösen fontos, hiszen ilyenkor dől el, hogy a rétegek között milyen mértékű adhéziót tudunk létrehozni illetve, hogy mennyire sikerül a mátrix-szál arányt jól eltalálnunk. Mindkét szempont lényegesen tudja befolyásolni a végleges termék mechanikai tulajdonságát.

A sűrűn térhálós (duromer) mátrixú kompozitok gyártástechnológiai több szempont alapján összehasonlítva:

Hőre keményedő mátrixot alkalmazó technológiák

Ssz.	Megnevezés	Erősítő- anyag faja	Technológia leírása	Előnyök	Hátrányok	Jellemző termékek	Szerszám
1	Kézi laminálás	1D 2D 3D	Szerszámfelület előkészítése Erősítőstruktúra befektetése Gyanta eldolgozása Légtelenítés Térhálósodás után kivethető a termék Nyomás nélküli, szakaszos technológia	Olcsó Egyszerű	Nagy előmunkát igényel Kis sorozatok esetén alkalmazható Nehezen reprodukálható termékminőség Nyitott technológia (sztirol)	Megfelelő számmal bármilyen termék elkészíthető	Bármilyen lehet (fém, üveg, fa, műanyag, kompozit, stb.)
2	Kézi szórás	1D	A szál és a gyanta a szórófejben találkozik Görgőzést igényel Szakaszos technológia	Könnyebben szabályozható szál-mátrix arány Könnyebben reprodukálható termék	Emberigényes Nyitott technológia (sztirol)	Lapszerű termék Héj	Bármilyen lehet, szórófaj + egyoldali, merev számszám
3	Injektálás (RTM)	2D 3D	Fóliával beborítjuk a számszámot Vákuumot csinálunk -> Levegő helyére gyanta Szakaszos technológia	Viszonylag olcsó Jól reprodukálható termék Nagy erősítőszál tartalom Zárt technológia	Sok hulladék Technológiai problémák nagy szoborfelületeknél	Lapszerű termék Héj	Bármilyen számszám az egyik oldalon, a másikon zacskó + levegő
4	Sajtolás	2D 3D	Erősítőszövet befektetése Felső, fém számszámfelel zárunk Vákuumot csinálunk -> Levegő helyére gyanta	Termék mindkét oldala szép Jól reprodukálható termék Nagy sorozatra alkalmas Gyors Zárt technológia	Drága	Héj vagy Lapszerű termék (általában) (Csődarabok is lehetségesek)	Kétoldali, merev, fűthető fém számszám
5	Lemezgyártás	1D (2D) (3D)	A szálát, gyantát szalagon keresztül bevezetjük a kemencébe A kemencében lévő fém számszám adja meg a lemez alakját Folyamatos technológia	Egyenletes vastagságú, jól reprodukálható termék	Drága Nyitott technológia (sztirol)	Építőipari lemeztermék (hang- és hőszigetelő lemezek)	FIFO Kétoldali alakadó profilok
6	Pultrúzió	1D	Folyamatos technológia Olyan hosszú termék készíthető, mint a csarnok hossza + az udvar hossza a kerítésig	Nagyon nagy egyirányú szilárdság Egyenletes, nagy szál tartalmú munkadarab Minimális előmunka	Drága Leginkább csak egyirányú terhelést bír a termék	1D, hosszú, profilos termék Huzalok	Kétrészes, fűtött fém számszám
7	Tekercselés	1D	A mag forog, míg a gyantafürdő száladagoló alternáló mozgást végez A termék a számszámra zsugorodik -> összeomló számszám Szakaszos technológia	A tekercselés szögének változtatásával a szilárdság nagymértékben befolyásolható	Rázsugorodik a számszámra Drága számszám	Forgásszimmetrikus alkatrészek (akár vasúti kocsik)	Összeomló számszám
8	Centrifugál szórás	1D	Kézi szóráshoz hasonló Számszám forog, szórófej alternál Szakaszos technológia	Egyenletes, reprodukálható termék Számszámból kiszugorodik Nem kell utómunkát	Behatárolt alak	Körszimmetrikus termék (elsődlegesen) Forgásszimmetrikus termék (nem gyakori)	Fűthető fém számszám
9	BMC	1D	Kompozit előgyártmány: por állagú gyanta, erősítőszálak, gyorsító Hűtőben -5 és -10°C között fél évig tárolható	Gyors Precíz alkatrész Nincs folyékony gyanta Nincs sztirol párolgás	Drága Számszámot fűteni kell Nem a legfolyósabb	Bármilyen lehet	Kétoldali, merev, fűthető fém számszám
10	SMC	2D 3D	Lapszerű előgyártmány: por állagú gyanta, erősítőszálak, gyorsító Éppen hogy hagyjuk térhálósodni, utána hűtés Szakaszos technológia	Gyors Precíz alkatrész Nincs folyékony gyanta Nincs sztirol párolgás	Drága Számszámot fűteni kell Nem a legfolyósabb	Bármilyen lehet	Kétoldali, merev, fűthető fém számszám

Táblázat: Gyártástechnológiák ismertetése

Czigány T., Szabéni G.: Polimer kompozitok technológiája jegyzet. BME, BSC (2013).

Számunkra a termék geometriájából fakadóan a kézi laminálás (hand-lay-up, lamination), kézi szórás, vákuuminjektálás (RTM), Sajtolás, BMC illetve SMC technológiák jöhetnek számításba.

A kézi szórás mellett a szál-mátrix arány pontos beállíthatósága szólt, viszont a szálak orientáltsága nem megoldható ennél a technológiánál, és jelentős súlytöbblet keletkezett volna ebben az esetben, így elvetettük.

Kézi laminálásnál már pontos rétegrendet tudunk létrehozni, viszont ebben az esetben is nyitott rendszer lévén, nyomás nélküli technológiáról beszélünk. A nyomásnak viszont nagy szerepe van a mátrix és az erősítőstruktúra közötti adhézió kialakulásában a térhálósodás során. A rétegek kézzel történő átimpregnálása túl sok időt vett volna igénybe, mert egyesével kell ezt végrehajtani, illetve nyitott rendszereknél egészségügyi problémát okozhat a párolgó gőzök belégzése. Ezek tudatában, zárt rendszerű technológiákban kezdtünk el gondolkodni.

Sajtolás, BMC és SMC technológiáknál célszerű kétrészes szerszámot alkalmazni, az eddig tárgyalt egyrészes szerszámokkal szemben, hogy a szükséges nyomást elő tudjuk állítani. Ezt azonban prototípus gyártásnál csak nagyon indokolt esetekben alkalmazzák, mert sokkal költségesebb ennek előállítás.

Választásunk az RTM (Resin Transfer Molding, továbbiakban vákuuminjektálás) technológiára esett, annak előnyei miatt:

- számunkra megfelelően nagy szál-mátrix arány érhető el
- homogénebb anyagtulajdonságokat tudunk létrehozni, mint az általunk alkalmazott többi gyártástechnológiánál
- kellő tapasztalattal rendelkezünk már ebben a gyártástechnológiában
- ára megfizethető volt csapatunk számára.

VIII.2 A GYÁRTÁS MENETE

A teljes héjszerkezet gyártása három fő lépésben történt: a felső héjelem gyártása, az alsó héjelem gyártása, valamint a két héjelem egyesítése. Az egyes héjelemek gyártása szintén három fázisra volt osztható, amivel el tudtuk érni, hogy csak a szükséges helyeken alakítsunk ki szendvicsszerkezetet vagy tömör laminátot, és a kétféle szerkezet átmenetében a lehető legkevesebb mátrixanyag gyűljön fel a technológia miatt. Elsőként a termék külső felületét jelentő "dekorréteget" és a további, maganyagon kívüli rétegeket helyeztük el a szerszámban, majd ebből vákuuminfúzióval elkészítettük a termék külső részét.

A második fázisban a térhálósodott külső rétegekbe a maganyagként szolgáló, méretre vágott zártcellás PVC-habdarabokat terítettük be kenhető és térfogatnövelt mátrixanyaggal, melynek végén a

rendszert vákuum alá helyezve kiszívattuk a szükségtelen mennyiséget. Harmadik, és utolsó fázisban a termék belső rétegeit terítettük be és az első lépéshez hasonlóan ismét injektálással fejeztük be a folyamatot.

Mátrix	Erősítőanyag				Maganyag			
	Forgalmazó	Típus	Szerkezet	[g/m ²]	Forgalmazó	Típus	Szerkezet	[g/m ³]
SR 8100 (injektáló epoxi gyanta)	Alvin-Plast Kft.	3K	Szövet	200	3A Composites	AIREX C 70.130	Zárt cellás PVC	130
	Zoltek Hungary	Panex 35	Unidirekcionális (UD)	200				

Táblázat: A felhasznált anyagok

VIII.2.1 A HELYSZÍN

A monocoque héjszerkezet kompozit termékeinek gyártását a Flaar Composites partnercégünk telephelyén végeztük el. A folyamatokhoz szükséges helyigényünk, illetve a szükséges berendezések megléte miatt esett a választásunk arra, hogy az egyetem területén kívül végezzük a gyártási fázist.

A munkafolyamat (az alsó és a felső héj elkészítése) két részletben zajlott, így kellő figyelmet fordíthattunk mindkét fél gyártására. A szükséges segédeszközöket nem kellett ismételtelen eltenni és elővenni, illetve a munkatempó is kellően gyors volt, hiszen többen tudtunk egyszerre egy munkadarabon produktívan dolgozni.

VIII.2.2 A SZERSZÁM ELŐKÉSZÍTÉSE

A szén rétegek teregetése előtt előkészítenünk, kezelniünk kellett a szerszám felületét hasonlóképpen mint az ősminta esetében is tettük. Első lépésként megtisztítottuk acetonnal a szerszámot a szennyeződésektől, illetve az általában a zsíros felületet okozó ujjlenyomatoktól.

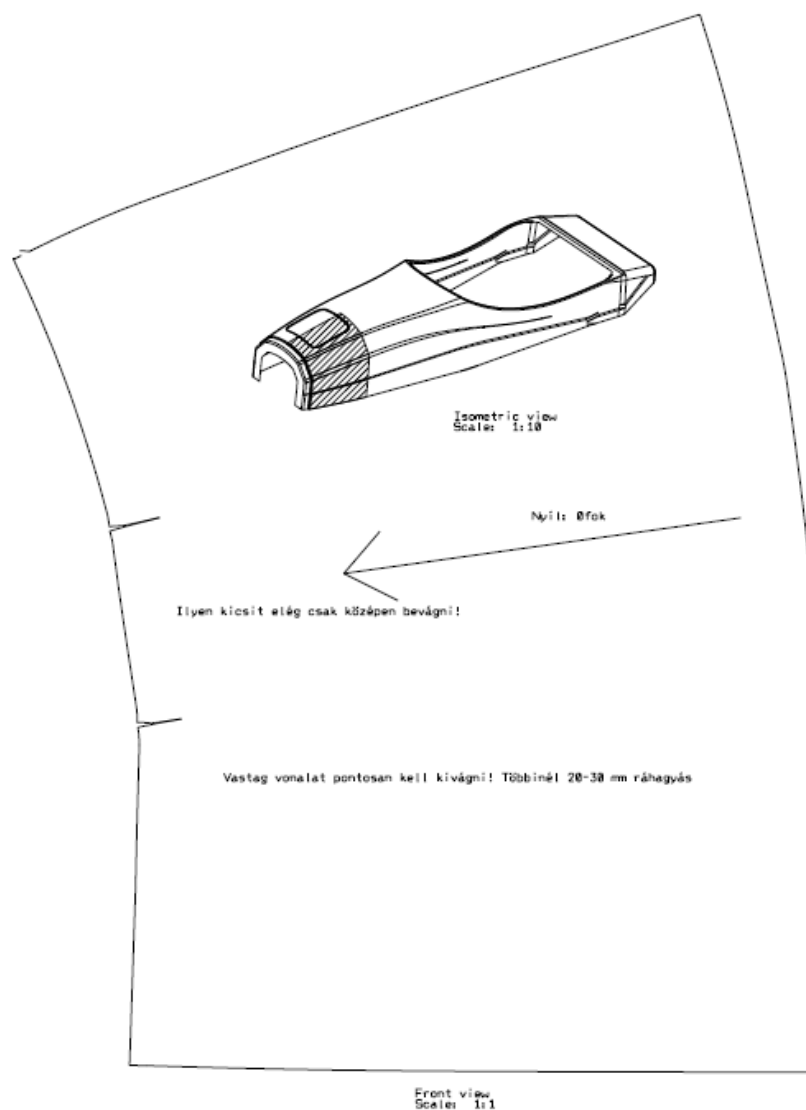
A felület megszáradása után 3 réteg Marbocote pórustömítőt hordtunk fel a szerszámmra. Az egyes felhordások között betartottuk a szükséges 20 perces, majd az ezt követő 12 órás várakozási időt.

Ezt a lépést (Xtend 19 ZAM típusú) folyékony formaleválasztóval való felületkezelés követte. Itt nem használhattuk volna a szerszámnál alkalmazott viaszos formaleválasztót, mivel a gyártás során hőkezelést is alkalmaztunk és 70°C-ig hőállónak kell lennie a szerkezetnek. Ezt a formaleválasztót pamut ruhával vittük fel a szerszám belső felületére három lépésben, köztük a szükséges 20 perces várakozási időt itt is betartva. Ezt követően készen állt a szerszám a szénrétegek teregetésére.

VIII.2.3 A GYÁRTÁS LÉPÉSÉRŐL LÉPÉSRE

VIII.2.3.1 TERÍTÉKEK ELKÉSZÍTÉSE

Ahhoz hogy méretpontosan tudjuk a kellő mennyiségű szövetet kivágni, szükségünk volt a monocoque héjszerkezet egyes rétegeinek terítékére. A 3D-s modellt Catia-ban terítettük ki 2D-s síkra, majd ezt zónákra osztottuk a szoftverben a könnyebb kezelhetőség érdekében. Így az előre kinyomtatott, 1:1-es méretarányú terítéknek köszönhetően pontosan ki tudtuk vágni a rétegeket az unidirekcionális és különböző vastagságú szénszövetekből. Figyelnünk kellett a szálak orientáltságára is, ezt a kinyomtatott lapokon lévő nyíl jelölte számunkra. Ezt speciálisan szén- és hibridszövetek vágásához kifejlesztett elektromos ollóval tettük, mely felgyorsította a szükséges terítékek pontos elkészítését.



126. ábra Példa az elkészült terítékekre.

VIII.2.4 A KÜLSŐ RÉTEG GYÁRTÁSA

Az injektálás lényege, hogy a rendszerben vákuum hatására a gyanta elkezd áramlani először a vödörből (resin pot) a bevezető csövekbe, majd onnan a rétegek közé, ahol a gyanta mennyiségétől és áramlási sebességétől függően átimpregnálja a szövetrétegeket. A szívóoldalon a gyantavezető csatornán keresztül távozik a gyantafelesleg a gyantacsapdába. Az áramlást a bevezető csöveken elhelyezett csapok segítségével lehet szabályozni és megállítani.

VIII.2.4.1 A “DEKOR” SZÖVET

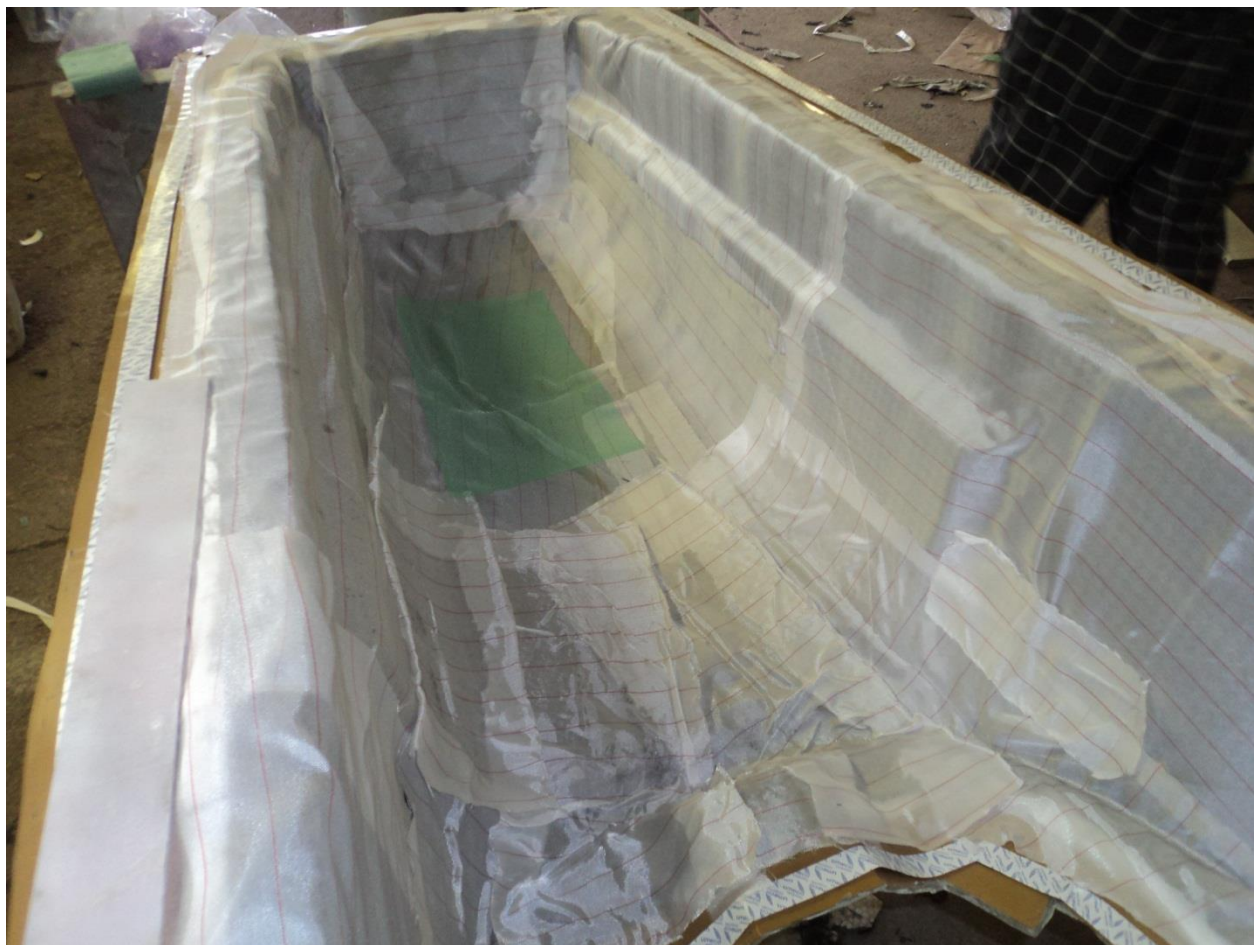
A termék legkülső rétegének 3K-s szénszövetet választottunk, melyet az osztósíkkal 45°-os szöget bezáróan helyeztünk fel a szerszám felületére. A terhelés felvétele mellett fontos szempont volt a “dekorréteg” esetében az is, hogy esztétikus legyen, hiszen oldalsó felületén csak lakkozást kapott a monocoque, így a szálak orientáltsága szabad szemmel is jól látható. Külön kellett ügyelnünk arra is, hogy a minimális, pár milliméteres átfedések mentén ne váljon le egy-egy roving a terítékek széléből, hiszen ez megbontotta volna a struktúrát.

VIII.2.4.2 A RÉTEGEK FIXÁLÁSA

A rétegek szárazon történő felvitele a szerszám függőleges széleihez közeledve már fixálást igényelt, hogy ne csússzanak le. Ezt a problémát a kompozit iparban ismert Aerofix 2 típusú aeroszolos ragasztó spray segítségével oldottuk meg. Pontosan kijelölt helyükre tudtuk illeszteni a rétegek terítékét a szerszámban, illetve annak falára is úgy, hogy nem esett le az odaillesztett réteg. Fontos volt figyelni arra, hogy ne fújjunk túl sok ragasztót az egyes rétegekre, mert az jelentős mértékben rontotta volna a rétegek közötti adhézió mértékét. A további rétegekhez (Zoltek 200g/m²-es) unidirekcionális szénszövetet (UD) alkalmaztunk.

VIII.2.4.3 LETÉPŐSZÖVET

Az összes (maganyagon kívüli) réteg fixálása után következett a letépő szövet (peel ply) felhelyezése. Ezt a vékony textilt a termék egész felületére kisebb darabokban, kb. 10-20 mm-es ráhagyással, ragasztóspray segítségével rögzítettük. A szövet célja a külső felületen lévő térhálósodás utáni erősítetlen mátrix (gyantafelesleg), illetve a technológia további eszközeinek könnyű eltávolíthatósága.



127. ábra Letépőszövet az injektelást megelőzően

VIII.2.4.4 GYANTAVEZETŐ HÁLÓ, GYANTACSATORNA

Következő lépés volt a gyantavezető háló (R91) illetve a gyantacsatorna feltétele. A háló a gyanta áramlását biztosítja a vákuum hatására letapadó fólia alatt, míg a csatorna a gyantafelesleg rendszerből való kivezetésére szolgál. Ez a két lépés a letépőszövettel ellentétben már tervezést igényelt, hiszen ha rosszul választjuk meg, hova kerüljön dupla rétegű háló és hol hagyjunk ki foltokat, akkor az injektálás során összezáródhat a gyanta útja, így száraz foltok is kialakulhattak volna. A gyanta kivezetésére a szerszám pereme és gerince mentén, illetve néhány egyéb pontban helyeztük el a gyantavezető spirált. Rendkívül fontos és korábbi tapasztalatot igénylő feladat volt ezeknek a szakszerű elhelyezése, hiszen ha távol esnek a bevezetésektől, nagy lesz az áramlási ellenállás, és a gyanta lassú terjedése és melegevése közben megnő annak viszkozitása, ami azzal járhat, hogy nem jut el a laminát széleire, valamint nem impregnálja át az összes réteget. Ha viszont túl közel esik a kivezetés a bevezetéshez, ennek ellenkezője léphet fel, és a “két pont között a legrövidebb út az egyenes” elvén a gyanta gyorsan távozik a

rendszerből és szintén nem jut el a laminát teljes területére. Az egyes “meglövések” (szívócsonkok bevezetése) mentén több réteg gyantavezető hálót alkalmaztunk, a gyorsabb gyanta áramlás érdekében.

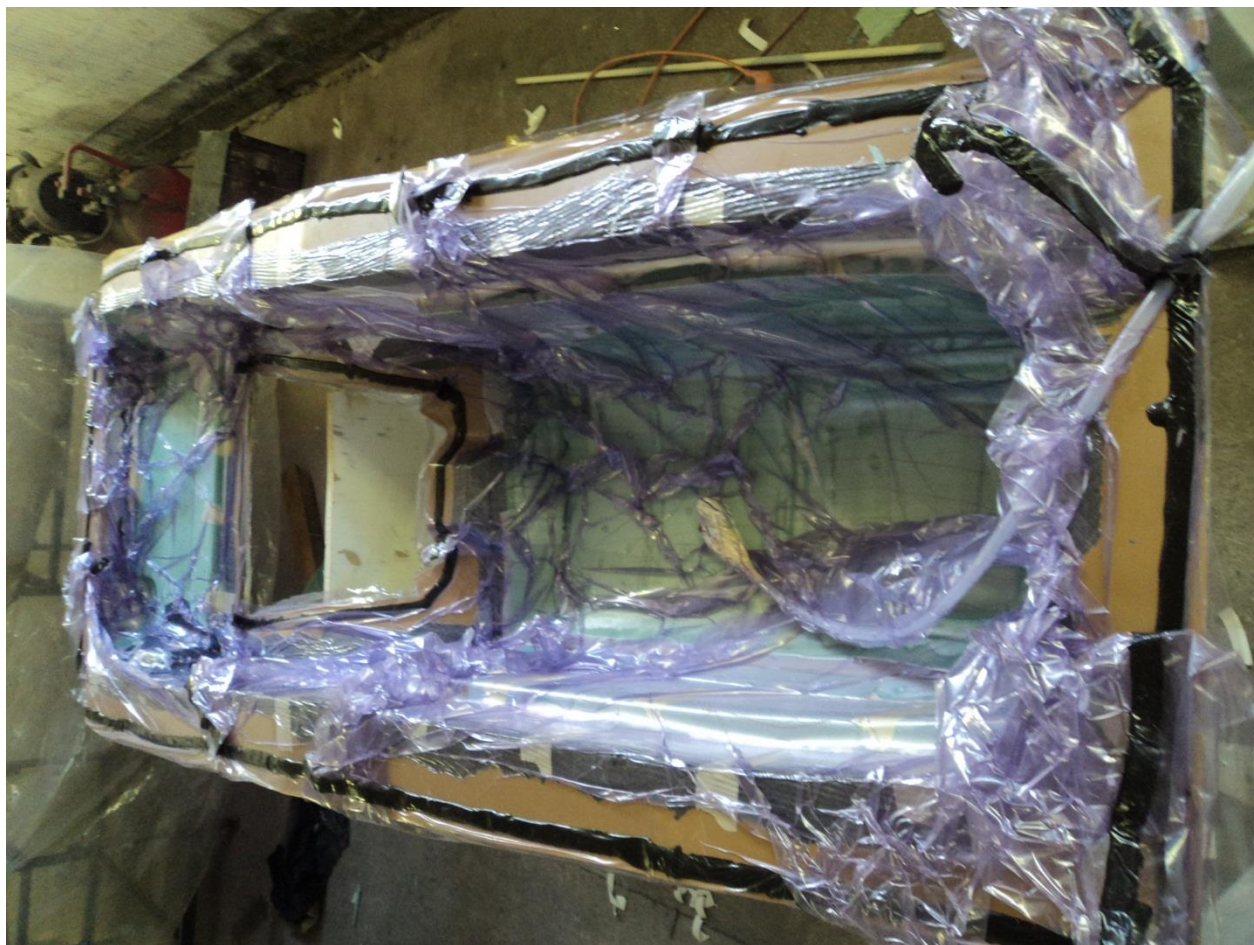
A gyantacsatornát ragasztópisztoly segítségével rögzítettük a szerszám peremére. A gyantavezető spirálra a meghatározott pontokban „T” idomokat építettünk, amelyekbe a szívócsonkokat csatlakoztattuk. A csonkokon keresztül bevezetett vákuum hatására távolítottuk el a gyantatöbbletet a rendszerből.

VIII.2.4.5 VÁKUUMZSÁK

Az injektálás előtti utolsó lépés a vákuumzsák légmentes elkészítése volt, mely a legkritikusabb lépés a gyártás során. Nagy odafigyelést igényel, hogy ne szakítsuk ki a vákuumzsákot munka közben annak sérülékenysége miatt. Ilyenkor megfelelően nagy ráhagyással kell elkészíteni a zsákot, felgyűrődéseket, ún. “füleket” alakítunk ki, mert a vákuumszivattyú bekapcsolása után a rádiuszok mentén kifeszülhet a fólia, ami miatt felhalmozódhat a gyanta, sőt a zsák szakadásához is vezethet.

VIII.2.4.6 TACKY TAPE

A légmentes zárását a vákuumzsáknak kétoldalú vákuumtömítő szalaggal (LTS-90 típusú tacky tape-pel) biztosítottuk, melyet a szerszám erre a célra meghosszabbított peremén helyeztük el, ügyelve arra, hogy feszesen feküdjön fel a felületre, különben apró rések keletkezhetnek alatta. Hasonlóképp kell a zsákot a ragasztószalag ellenkező oldalához rögzíteni, ezért a ragasztószalagról fokozatosan, a fólia ráhelyezésével egyidejűleg távolítottuk el a védőpapírt. A zsák füleihez külön ragasztócsíkokat vágtunk, amivel megtoldottuk a ragasztási éleket, folyamatosan ellenőrizve, hogy a fólia vákuum alatt elegendő méretű legyen és a gyanta vezetéséhez szükséges gyűrődések is kialakuljanak.



128. ábra Elkészült vákuumzsák az injektálást megelőzően

VIII.2.4.7 A VÁKUUMINJEKTÁLÁS

Egy speciális, kis viszkozitású SR8100-as típusú injektáló epoxi gyantát használtunk mátrix anyagnak. Ehhez az egyik hozzá alkalmazható katalizátort választottuk, mely a normál térhálósodási idejű SD8824 volt. Keverési aránynak 100g/22g-ot alkalmaztunk. A kimért komponenseket különös odafigyeléssel kellett összekeverni, hogy megfelelően homogén legyen az oligomer illetve a monomer komponensek eloszlása. Erre azért van szükség, mert nagyon fontos hogy a reaktív csoportok lehetőleg 100%-a átalakuljon. Ezért 5 percnyi intenzív keverés után magára hagytuk a gyantát 1 percre majd újabb 5 perc keverés következett. Ez után a szívócsonkok végeit beletettük a vödörbe, és bekapcsoltuk a vákuumszivattyút. Szelepek segítségével tudtuk szabályozni, hogy a termék mely részei igényelnek kevesebb vagy több gyantát annak függvényében, hogy milyen gyorsan áramlott a gyanta a rétegek között.

VIII.2.5 HŐKEZELÉS

A monocoque hőkezelését méreteiből fakadóan nem tudtuk megoldani szárítókemencében, így nagyméretű ipari hőszugárzót alkalmaztunk, és a terméket nagy méretű ponyvával takartuk le, hogy csökkentsük a hőveszteséget hőkezelés közben. Több ponton is hőmérőket helyeztünk el, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy mindenhol a kellő (60°C-os) hőmérsékleten van a termék.

Amíg vártunk az alsó héjelem térhálósódására addig el tudtuk végezni a felső héj előkészítését az injektálásra, így nem maradt holtidő az egyes részfolyamatok között.

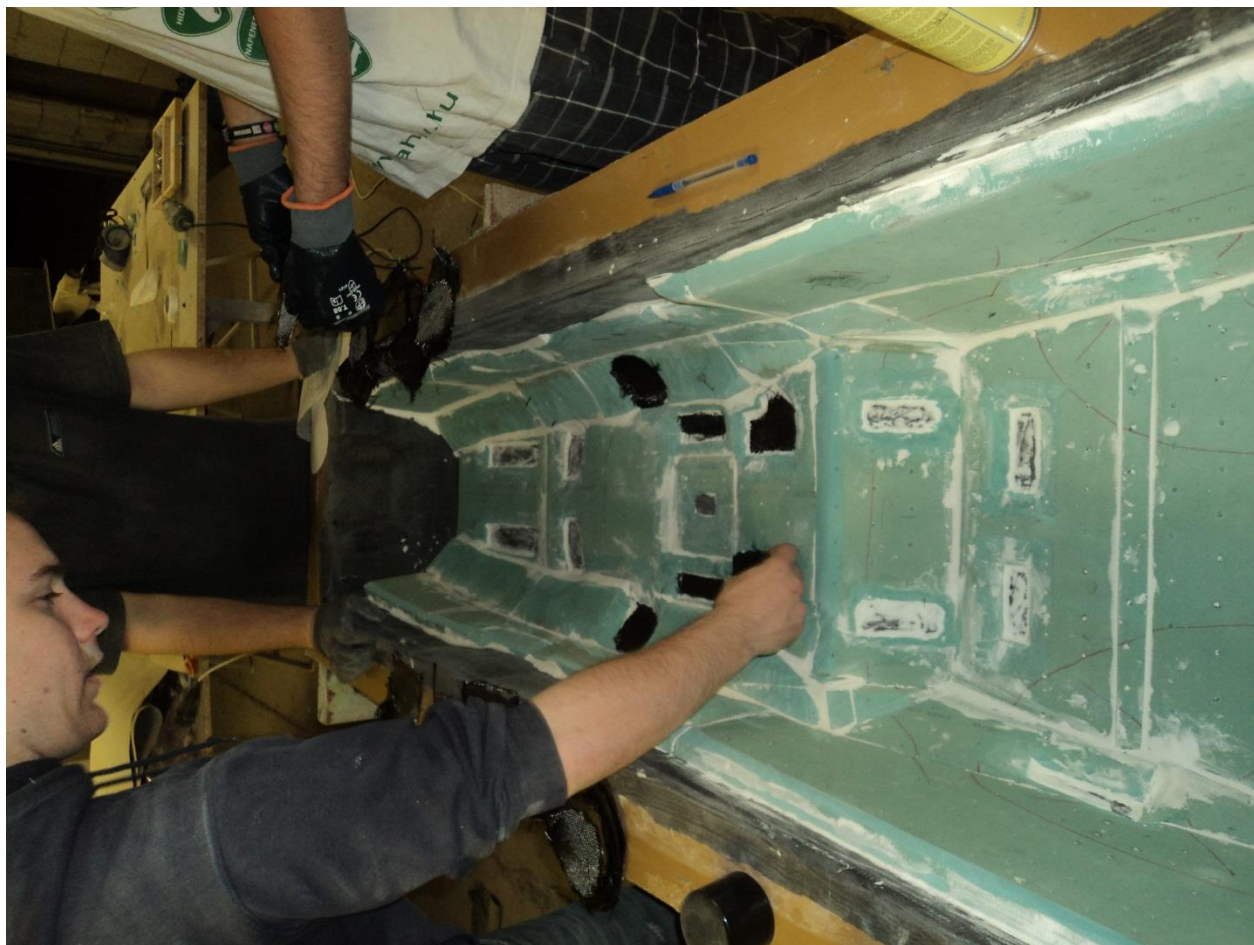
A térhálósodást követően eltávolítottuk a termékről a segédeszközöket, a letépőszövetnél fogva, majd megtisztítottuk a termék felületét a gyantaszilánkoktól, sűrített levegővel.

VIII.2.6 A SZENDVICSANYAG GYÁRTÁSA

Szendvicsszerkezetnek kétfajta maganyagot használtunk. A monocoque teherviselő részébe AIREX C 70.130-as zárt cellás PVC habot, míg a műszerfalhoz és a kevésbé kritikus részekhez Soric SF-et használtunk. A műhelyünkben előzetesen méretre vágott és feldarabolt PVC maganyagot sarokcsiszolóval illetve kézi csiszolással még pontosabban tudtuk beleilleszteni a szerszámba. A köztük maradó réseket, hézagokat pedig gitt anyaggal töltöttük ki.



129. ábra A méretre vágott maganyag-darabok



130. ábra Maganyag belaminálása a külső héjba

VIII.2.6.1 GITTANYAG

A gittanyagot 3 komponens alkotta: SR8100 epoxi gyanta, Aerosil R202 és Q-cell. A gyantát a már korábban is használt SD8824-es katalizátorral térhálósítottuk

Aerosilt tixotropizáló szerként a gyanta folyóképességének csökkentése érdekében használtunk (konzisztencia javításra)

Q-cell egy szervesetlen mikrobalon melyet térfogatnövelés céljából alkalmaztunk. Ez egy zárt cellás szerkezetű, kis szemcseméretű és nagy fajlagos felületű fehér töltőanyag. Egészségre különösen káros porózus anyag, így ennek a gitt anyagba keverésénél porvédő maszkot vettünk fel.

VIII.2.6.2 A MAGANYAG VÁKUUMOZÁSA

A maganyag pontosabb illeszkedése és a gittanyag jobb szétterülése miatt vákuumzsákot használtunk ennél a lépénél is, azzal a különbséggel, hogy itt csak szívócsonkot alkalmaztunk, mert a gitt anyagot előzetesen kézzel vittük fel a maganyag alá. Ennek a térhálósodása nagyjából 6 órát vett igénybe.

A zsák leszedése után a hab felületéről csiszolással eltávolítottuk a felesleges gitt anyagot, majd ezt követte a felület megtisztítása a szennyeződésektől.

VIII.2.7 A BELSŐ RÉTEG GYÁRTÁSA

A gyártás során alkalmazott harmadik (legbelső) réteget a külső réteg analógiájára készítettük el. A szerszámon található futóműfuratoknak szolgáló hüvelyeket a térhálósodás után fűrtük ki, így sikerült pontosan merőlegesnek lenniük a felületre illetve a furatok helyei is megegyeztek a tervezett helyekkel. A szerszámból csak az utolsó réteg kitérhálósodás után távolítottuk el a terméket, így kerültük el a vetemedést az egyes munkafolyamatoknál.

VIII.2.8 TERMÉK ELTÁVOLÍTÁSA

A termék eltávolítását különös odafigyeléssel kellett elvégezni, mert sérüléseket okozhattunk volna annak felületén. Szerszámbontó ékekkel növeltük a távolságot a szerszám és a termék szélénél folyamatosan mélyebbre ütve azokat, így tudtuk elkerülni a termék sérülését.

VIII.3 A HÉJELEMEK ÖSSZEILLESZTÉSE

VIII.3.1 SZÉLEZÉS

A két héj elem szerszámból való eltávolítása után azok szélezése következett. Az ősmintába karcolt vonal mentén pontosan tudtuk ezt a munkafolyamatot elvégezni, mert a vonal jól kirajzolódott a terméken is. A szélezést a felső héj elemnél elég volt egy Dremel multifunkcionális szerszám segítségével megtenni, mert ott vékonyabb volt a laminát vastagsága. Az alsó félnél azonban sarokcsiszolót használtunk, majd a pontos végeredmény elérése érdekében az utolsó millimétert már kézi csiszolással távolítottuk el.



131. ábra Az elkészült felső héj szélezése

VIII.3.2 RAGASZTÁS

A két héj elem összeragasztása előtt szükséges volt a ragasztandó felületek előkészítésére.

Célunk a felület minél érdesebbé tétele volt, hogy a ragasztó a lehető legjobban rögzítsen. Ezt alapos felcsiszolással (P 30-as csiszolópapírral) értük el. A ragasztás minőségét rontotta volna a poros vagy zsíros felület, így acetonnal tisztítottuk meg azt.

VIII.3.2.1 A RAGASZTÓ KIVÁLASZTÁSA

A héjelemek összeragasztásánál szempont volt számunkra, hogy:

- nagy szilárdságú kötést hozzunk létre,
- a ragasztó fazékideje ne legyen túl rövid, hogy ne kezdjen el kötni a ragasztó még az összeillesztés előtt,
- illetve hogy számunkra megfelelő viszkozitású legyen.

Választásunk a Loctite 9466-os termékére esett, mely egy növelt szilárdságú két komponensű epoxi ragasztó.



132. ábra A ragasztó felkenése a felek összeragasztása előtt

VIII.3.2.2 RAGASZTÁS, FELEK ÖSSZEFOGATÁSA

A ragasztó felkenése és elosztatása után a két felet összeillesztettük és gyorszorítókkal rögzítettük. 24 óra elteltével az összeragasztott terméket síkra csiszoltuk a ragasztási perem mentén, hogy az egyenetlenséget és a kitüremkedett ragasztó-felesleget eltávolítsuk.

IX UTÓMUNKÁK, FÉNYEZÉS

IX.1 FRONT BULKHEAD BELAMINÁLÁSA:

A Front Bulkhead a Formula Student versenyszabályzat által kötelezően előírt sík merevítő elem a járműváz elején, melynek funkciója a pilóta lábának védelme. Körülményes munkafolyamat volt ez, mert nehezen hozzáférhető részekben kellett dolgoznunk. A szükséges felület felcsiszolását követően annak acetonos tisztítása következett, majd a kézzel méretre vágott hab maganyag fixálása. Ezt ugyanazzal a térfogatnövelt, kis viszkozitású gyanta gittanyaggal rögzítettük a monocoque-ba mint amit használtunk már korábban a maganyagnál is. Ennek térhálósodása után szénrétegeket lamináltunk rá úgy, hogy a laminát vastagsága megegyezzen a hab ellentétes oldalán lévővel. A kész laminátra letépő szövetet illesztettünk, hogy ennek a felületi minősége ne térjen el a monocoque-étól.

IX.2 SZERELŐNYÍLÁS LÉTREHOZÁSA

A monocoque felső felületén egy négyzet alakú nyílást helyeztünk el a szerelés megkönnyítése érdekében, hiszen innen lehet hozzáférni a front bulkheadhez és a pedalboxhoz is, amelyben a fékrendszer és a pedálszenzorok állíthatósága különösen fontos. A szerelőnyílás megtervezett eleme volt a héjszerkezetnek, formáját a termék elkészülte után vágtuk ki Dremel multifunkcionális szerszámmal, vágófej alkalmazásával. A nyílás tetejét a monocoque felső szerszámába történő újbóli laminálással készítettük el. Oldalanként 20 mm-es átfedésre volt szükség, hogy később négy darab M4-es belső kulcsnyílású csavarral rögzíthessük a monocoque-hoz. A menetet kézi menetvágóval fúrtuk a monocoque-ba, mivel teherviselő szerepe nincsen a fedőnek, és nem távolítjuk el olyan gyakorisággal, hogy ez elkoptassa a menetet.



133. ábra Szerelőnyílás a kész autón



134. ábra Fedélrögzítő furatok a laminátban



135. ábra Szerelőnyílás és fedél

IX.3 ELEKTROMOS VEZETŐ LAMINÁLÁSA A MONOCOQUE BELSEJÉBE

Az versenyszabályzat által előírt módon a járműváznak vezetőképesnek kell lennie, melyet a szerkezet bármely két pontja között ellenőrizhetnek, és ehhez akár a lokális bevonatot is eltávolíthatják. Bár a szénzál erősítésű kompozit vezetőképesége elegendő - amelyet mérésekkel mi is alátámasztottunk -, a biztonság kedvéért az ilyen szerkezetű vázra javasolt rézháló vagy egyéb hasonló vezetőréteg felvitele, hogy két-két pont közti ellenállást 5 Ohm alatt tartsa.

Ehhez TWP gyártmányú, 0.022" átmérőjű, 20 g/m² és 100 szál/inch sűrűségű rézhálót választottunk, amely 48 inch szélességű, négyzet alapterületű kiserelésben volt kapható. A rögzítést megelőzően próbatestet gyártottunk, hogy ellenőrizzük a laminát és a rézháló együttesének vezetőképeségét, a háló illeszkedését forrasztási pontokkal biztosítva. A mért eredmény átlagosan 0.8 Ohm volt egy 40 mm-es szakaszon, így a próbatest megfelelt az igényeknek. Az egyes lapokat előzetesen méretre vágtuk, és az élek mentén forrasztással kialakítottuk a szükséges terítéket. Ezt kézi laminálással, az epoxi gyantához tixotropizáló adalékot keverve vittünk fel a vázszerkezet belsejébe, az alacsony feszültségű kábelkorbács vonala mentén 220 mm-es területen, az acél vázelemek és a pedalbox rögzítő csavarjait érintve, valamint a tűzfal teljes területére.



136. ábra Rézháló a monocoque-ban

IX.4 MAIN HOOP BRACING CSATLAKOZÁS KIJAVÍTÁSA

A monocoque héjszerkezet, a bukókeret megtámasztása (main hoop bracing) és a járműváz hátsó részét képező acélcső-szerkezet szimmetrikusan egy-egy csatlakozási pontban találkozik a monocoque hátsó pereme mentén. A három szerkezet rögzítése csavarkötéssel van kialakítva. Gyártás során törekedtünk arra, hogy a rétegeket egyenletesen terítsük bele a szerszámba, illetve az infúzió során is a szénrétegek gyűrődését elkerüljük. Ennek ellenére a csatlakozásnál a laminát nem lett minden pontban konstans vastagságú, vagyis síkja nem egyezett meg a modellben foglaltakkal, így a csatlakozási pontban az acélcső-váz végére hegesztett felfekvő perem illesztése nem lett tökéletes.

Ezt a méreteltérést utólagosan szénrétegek kézzel történő laminálásával küszöböltük ki. A laminát síkjának szintre hozásához le kellett mérnünk, hogy milyen magasságig kell feltöltenünk a csatlakozás helyét, így a vázszerkezetek pozicionálása és fix rögzítése mellett kitöltöttük gyurmával a csatlakozási sík menti űrt és lenyomatot vettünk a laminát felületéről. A mért értéket egy réteg vastagságával elosztva megkaptuk a kívánt rétegszámot. Mivel a hibára az autó összeszerelése során figyeltünk fel, bizonyos egységek már csatlakoztatva voltak a jármű vázára, így a laminát javítását fejjel lefelé kellett elvégezni. A felület felérdesítését követően kézi laminálás technológiát alkalmazva töltöttük fel a bekötés helyét. Tixotropizáló adalék hozzáadásával az epoxi gyanta viszkozitása megnőtt, így könnyebben tudtuk felkenni a függőleges felületekre, valamint a monocoque felső részére a dashboard mögött.

IX.5 ÜLÉSPEREMEK LAMINÁLÁSA A SZERKEZETBE

A pilótaülés rögzítését a monocoque-ba egy perem segítségével oldottuk meg. A szintén szénszál erősítésű ülést és annak peremét az ülés szerszámában egyidejűleg készítettük el. A szerszám formáját az ülés terméke vette fel, amelynek hátoldalára letéptő szövet közbeiktatásával újabb rétegeket vittünk fel a kerülete mentén, 100 mm-es ráhagyással a vákuuminjektálást megelőzően. Így a gyártás befejeztével gyakorlatilag két terméket kaptunk, amelyek egymásról eltávolíthatóak voltak. Erre az ülés és a különálló perem illeszkedése miatt volt szükség, hiszen a perem szerszámba történő újralaminálásával figyelmen kívül hagytuk volna az ülés termékének vastagságát. A kapott peremről levágtuk a ráhagyást, majd feldaraboltuk, kihagyva a main hoop vázelem vastagságát, ahol az acélcső kilép a monocoque-ból. A kapott elemeket a monocoque belső felületén három különböző helyen - a cockpitban két oldalon és a hátsó felső felületen keresztbe vezetve - kézi laminálással rögzítettük.

IX.6 ORRKÚP RÖGZÍTÉS

Az aramid szövettel erősített orrkúp 4 db M5x20-as csavarral van a monocoquehoz erősítve. Ehhez a front bulkhead belsejébe 4 db alumínium inzeret lamináltunk, amelybe a külső héjon és a maganyagon keresztül furatot fúrtunk és menetet vágtuk. Az orrkúp belső és a monocoque külső, fényezett felülete közé az illesztőperemen, nyolc pontban 2 mm vastagságú gumibetéteket helyeztünk el ragasztással.

IX.7 FURATOK KIALAKÍTÁSA

Ahhoz, hogy a kompozit termékből egy elektromos versenyautó váza váljék, számos furatot kellett létrehozunk rajta.

Előre megtervezett pontokhoz tartoztak az acélcső-váz csatlakozási pontjai, melybe a hátsó vázszerkezet, a front hoop és a main hoop tartoztak, a futómű bekötési pontok és a kormányösszekötő számára kialakított rés. Az utóbbi átmérője 22 mm, hiszen a kormányösszekötő rúd mellett itt vezettük ki a fékcsöveket és a kábelkorbácsot is, emellett 60°-os szöget zár be a felülettel, ezért felfúrás után maróval szélesítettük.

Hasonlóan jártunk el a HVD (High Voltage Disconnect, nagyfeszültségű vészkapcsoló) kivezetésének esetében is, amelynek helye mérete miatt csak az autó összeszerelése során konkretizálódott. A kis- és nagyfeszültségű főkapcsolók, valamint a kisfeszültségű mérőpontok (measurement point) pontos helyét szintén később határoztuk meg, hiszen az oldalburkolat síkja fölött kellett elhelyezni őket, hogy könnyen hozzáférhetőek legyenek. Ezek a monocoque hátsó részén, a jobb oldalán találhatók. Az oldalburkolat rögzítését a monocoque-hoz több ponton csavarkötéssel oldottuk meg, a padlólemez feszességét két helyen dróthuzal szolgálja, amely szintén egy-egy ilyen csavarozási ponthoz van rögzítve.



137. ábra Főkapcsolók és a measurement point a monocoque oldalán

IX.8 FÉNYEZÉS

A 2012-es színkódot szeretnénk volna megtartani, illetve az FRC-003, Díva, a 2010-es autó jellegzetes beömlőjének jellegét is. Talán feleslegesnek tűnik egy versenyautó esetében az ilyenfajta munka, mivel nem megy gyorsabban tőle az autó – de lassabban sem. A kívülág felé egy könnyebben fogadható „termék” mindig előnyösebb, ami például a csapat életében partnerkapcsolatok keresésekor is fontos lehet. De ha csak éves célokat nézünk, akkor is van létjogosultsága, hiszen a Formula Studentben a műszaki-, költség- és üzleti részekről szóló prezentációk esetében rögtön az első benyomásra ad a bírácaknak egy pozitív töltést, amely után egészen más hozzáállásuk lesz a szakmai jellegű bemutatókhoz.



138. ábra Az elődőkön megfigyelhető vizuális elemek



139. ábra A végleges vizuális kialakítás, az FRC-003, Michaela



140. ábra Maszkolás: Chip Foose-nak 2 perc, nekünk 8 óra volt



141. ábra „Az utód” (<http://www.f1-live.hu/bulvar/hivatalos-az-első-magyar-csapat-az-f1-ben-f1-live-hu-racing-team/>)

Idén ősszel egy virtuális magyar Forma-1-es csapat az FREC-003 színekkel versenyez. Ezzel elmondhatjuk, hogy máris, ilyen rövid időn belül reflektáltak a mi alkotásunkra.

X ÖSSZEFOGLALÁS

X.1 A DOLGOZATRÓL, MUNKÁRÓL

A dolgozat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Formula Student csapata, a BME Formula Racing Team 2013-ban elkészült, FREC-003-as kódjelű modellje szénszál erősítésű kompozit monocoque vázának tervezési és gyártási fázisait mutatja be.

A 7 hónapos tervezés és gyártás folyamatát egy közel 2 éves kutatási fázis előzte meg. A tervezés során rendkívül sok szempont figyelembevételével készült el a végleges geometria, amely mind a versenyszabályzatnak, mind a jármű layoutnak, mind a gyárthatósági feltételeknek megfelel. Számos olyan kérdés merült fel, amellyel hazánkban még nem foglalkozott a szakma. Magyarországon elsőként vágtunk hasonló fejlesztésbe, ezért alkalmanként nem számíthattunk segítségre, a tudást apránként kellett összeszedni, egyes esetekben saját magunk jöttünk rá a megoldásra. A kompozit héjszerkezet szilárdsági méretezését a szénszál kompozit anyag jellemzőinek meghatározása után végeztük el. A méretezéshez a versenyszabályzat értelmében egy referencia próbatestet kellett elkészítenünk, amin ellenőrizhettük a tervezési modell helyességét. A végeelem modellel számított, és az elkészült próbatesten mért szilárdsági jellemzők 99%-os pontossággal egybeestek.

A tervezés eredményeképpen született 3D-s modell megvalósításához számos lépésen kellett végighaladnunk. A kompozit termék legyártásához először egy MDF ősmintát készítettünk CNC marógépen, majd annak felületkezelésével hoztuk létre a kívánt felületi minőséget. Az ősminta szolgált alapjául a termék gyártásához szükséges negatív szerszámnak, amelyet üvegszál erősítésű kompozitból gyártottunk. A negatív szerszámban készült el a szénszál erősítésű műanyag termék, amelyet vákuum infúziós technológiával, két fél darabból gyártottunk. Szélezést és csiszolást követően a két termék felet ragasztással egyesítettük.

Az így elkészült szénszál monocoque vázat fényezés és lakkozás után szereltük készre a versenyautó többi alkatrészével.

Első éves monocoque-unk 23,5 kg lett, ez 12 kg tömeg-csökkenést jelent autó szinten. Úgy gondoljuk a kitűzött célt tehát elértük.

X.2 VERSENYEREDMÉNYEK



142. ábra Oklevelek a versenyeredményekről

Idén 2 Formula Student versenyen vett részt az FREC-003 és számos dobogós helyezést értünk el teljesen új autónkkal, ráadásul olyan csapatok ellen, akik évek óta ugyanarra a platformra építkeznek. Ezek közül kimagasló győzelemnek számít a Formula Student Hungary verseny, ahol Európa legjobbjai ellen küzdve tudtuk megnyerni a műszaki tervezés és a leghatékonyabb energiafelhasználású autó díját is – amelyhez szintén nagyban hozzájárult egy könnyű szénszálas vázszerkezet és számos könnyített alkatrész is. Az Engineering Design Event számban aratott győzelmünk minden bizonnyal a valaha elért legnagyobb siker a BME Formula Racing Team történelmében! Ezzel az eredménnyel nem csak támogatóink, hanem magunk számára is bizonyítottuk, hogy az elmúlt egy év minden egyes tudatos mozzanatára szükség volt, hogy az utolsó pillanatig érdemes és kell küzdeni.



**143. ábra A BME Formula Racing Team Engineering Desing győzelme
a IV. Formula Student Hungary-n**

XI TARTALOMJEGYZÉK

I	Bevezetés.....	3
II	Formula Student.....	4
II.1	Formula Student Budapesten, A BME Formula Racing Team	7
II.1.2	Az FREC – 003 főbb paraméterei:.....	9
II.2	„A Játék Lényege”	10
II.2.1	A Versenyaútó-tervezés Áttekintése	10
II.2.2	Járműtömeg.....	11
III	Irodalomkutatás	13
III.1	A versenyautó vázszerkezete	13
III.2	Szénszál-erősítésű polimer kompozit.....	13
III.3	Szénszál erősítésű polimer kompozit szendvicsszerkezet.....	15
III.4	A monocoque szerkezet	16
III.5	Karbon kompozit monocoque szerkezet.....	17
IV	Tervezés.....	19
IV.1	Monocoque követelmények	19
IV.1.1	Monokok építésének rendeltetése és elérni kívánt céljaink.....	19
IV.1.2	Az ideális újgenerációs autó... ..	19
IV.1.3	Csapatszintű megközelítés	19
IV.1.4	Versenyzés szemszögéből való megközelítés.....	19
IV.1.5	Weekend driver szemszögéből való megközelítés.....	20
IV.1.6	Az ideális újgenerációs monocoque	20
IV.1.7	Tervezés követelményei	20
IV.2	Követelményjegyzék.....	20
IV.3	Geometriai követelmények.....	21
IV.3.1	Kinematikai követelmények	21
IV.3.2	Erők, terhelések.....	22
IV.3.3	Energia.....	22
IV.3.4	Anyag.....	22
IV.3.5	Biztonság	23
IV.3.6	Gyártás	24
IV.3.7	Szerelés.....	24
IV.3.8	Szállítás	24
IV.3.9	Üzemeltetés.....	25
IV.3.10	Karbantartás	25
IV.3.11	Költségek	26
IV.3.12	Határidők.....	26
IV.4	Összfunkció meghatározása	26
IV.4.1	Funkcióstruktúra	28
IV.5	Környezetfeltáró mátrix	29
IV.6	Költségterv.....	30
IV.7	Időterv	31
IV.8	Megoldási elvek.....	36
IV.9	Monocoque szabályzati megkötések	38
IV.9.1	Monocoque követelményei	38

IV.10	Visszajelzések a pilótától.....	43
IV.10.1	Mock-up	44
IV.10.2	Mock-up tapasztalataink	45
IV.11	Geometriai kialakítások.....	49
IV.11.1	Osztósík keresztmetszet	50
IV.11.2	Lábtér.....	54
IV.11.3	Futóműpanel	56
IV.11.4	Hajtáslánc és futómű konzol	58
IV.12	Előzetes geometriai kialakítás	60
IV.13	Végeleges geometriai kialakítás	62
V	Méretezés.....	66
V.1	Véges elemes modellezés.....	66
V.1.1	Feladat megfogalmazása	66
V.2	Anyagtörvények meghatározása	69
V.2.1	Anyagtörvények meghatározása	70
V.2.2	Formatestek mérése.....	71
V.3	A szerkezet méretezése.....	79
V.3.1	Peremfeltételek, terhelések, zónák.....	79
V.3.2	Első eredmények	85
V.3.3	Közbenső eredmények	88
V.3.4	Végleges eredmények	88
V.4	Méretezés Összefoglalás	91
VI	Ősminta	92
VI.1	Bevezetés.....	92
VI.2	Az ősminták alapanyaga	93
VI.3	A váz gyártásával kapcsolatos feladat ismertetése	94
VI.4	Szeletelés.....	98
VI.5	A kiosztással szembeni követelmények.....	98
VI.6	A marást követő feladatok	104
VII	Szerszám	105
VII.1	A kompozit szerszámokról általánosságban.....	105
VII.2	FRT szerszám történelem	106
VII.3	Felhasznált anyagok:	107
VII.3.2	Mátrixanyag:.....	109
VII.4	Nem illó anyag tartalom (ICON 003)	110
VII.4.1	HDT hőmérséklet.....	110
VII.4.2	Gelcoat	111
VII.4.3	Katalizátor.....	112
VII.4.4	Pórustömítő.....	112
VII.4.5	Formaleválasztó	112
VII.5	Gyártástechnológia, gyártás lépésről-lépésre.....	113
VII.5.1	Ősminta előkészítése.....	113
VII.5.2	Formaleválasztó felvitele.....	114
VII.5.3	Gelcoat felvitele.....	114
VII.5.4	Üvegpaplan darabolása	114
VII.5.5	Vágott szálak felvitele a rádiuszokba	115
VII.5.6	Rétegek impregnálása	115
VII.5.7	Merevítés.....	115

VII.5.8	Eltávolítás	115
VII.5.9	Szélezés.....	116
VII.5.10	Illesztések elkészítése	116
VIII	Gyártás	118
VIII.1	Gyártástechnológia megválasztása	118
VIII.2	A gyártás menete	119
VIII.2.1	A Helyszín	120
VIII.2.2	A szerszám előkészítése	120
VIII.2.3	A gyártás lépésről lépésre	121
VIII.2.4	A külső réteg gyártása	122
VIII.2.5	Hőkezelés.....	126
VIII.2.6	A szendvicsanyag gyártása	126
VIII.2.7	A belső réteg gyártása	129
VIII.2.8	Termék eltávolítása	129
VIII.3	A héjelemek összeillesztése	129
VIII.3.1	Szélezés.....	129
VIII.3.2	Ragasztás	130
IX	Utómunkák, fényezés.....	132
IX.1	Front Bulkhead belaminálása:	132
IX.2	Szerelőnyílás létrehozása	132
IX.3	Elektromos vezető laminálása a monocoque belsejébe	134
IX.4	Main hoop bracing csatlakozás kijavítása	135
IX.5	Ülésperemek laminálása A Szerkezetbe.....	135
IX.6	Orrkúp rögzítés.....	136
IX.7	Furatok kialakítása.....	136
IX.8	Fényezés	138
X	Összefoglalás	141
X.1	A dolgozatról, munkáról	141
X.2	VersenyEredmények.....	142
XI	Tartalomjegyzék	144
XII	Ábrajegyzék	147
XIII	Irodalomjegyzék:	152
XIV	Melléklet 1.....	153
XIV.1.1	Monocoque laminálás költségei.....	153
XIV.1.2	Próbaminálás költségei.....	153
XIV.1.3	SES költségei	154
XIV.1.4	Lamináló felszerelés	154
XIV.1.5	Változó költség	155
XIV.1.6	Összköltség.....	155

XII ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra Az első magyar kompozit formula monocoque, az elkészülés pillanatában: 2013. május 12. 23:23:08, Biatorbágy, Magyarország.....	2
2. ábra Az FREC-003, „Michaela”, az első magyar kompozit formula monocoque-os versenyautó	2
3. ábra Formula Student csapatok a világ minden tájáról	4
4. ábra Egy Formula Student verseny pontelosztása.....	5
5. ábra Formula Student Budapesten, a BME Formula Racing Team, FRC-003	7
6. ábra A BME Formula Racing Team négy korábbi autója a 2011-es Fundrive-on, balról jobbra:	9
7. ábra Idei fő fejlesztésünk, beépítve az első magyar monocoque formula autóba	9
8. ábra Sebesség a pálya vonalán.....	11
9. ábra Gyorsulásvektor a pálya vonalán	11
10. ábra Laminátum, a kapcsolat a szálak és a mátrixanyag között.....	13
11. ábra Szénszál erősítésű polimer kompozit szendvicsszerkezet.....	15
12. ábra Szendvicsszerkezet modellezése Abaqussal	15
13. ábra A különböző részegységek felszerelése a monocoque szerkezetre.....	16
14. ábra: Az első monocoque McLaren MP4/1 és egy újszerű utcai karbon utascella.....	17
15. ábra: BME-FRT 2011-es monocoque vázszerkezetének terve	18
16. ábra Terhelésre adott merevség biztosítása	26
17. ábra Funkcióstruktúra	28
18. ábra Környezetfeltáró mátrix	30
19. ábra Ütemezés I.....	31
20. ábra Ütemezés II.....	32
21. ábra Ütemezés III.....	33
22. ábra Ütemezés IV.	34
23. ábra Ütemezés V.	35
22. ábra Megoldási elvek rajzai	36
25. ábra Sablonok elhelyezkedése a monocoque-ban.....	38
26. ábra Sablonok méretei	39
27. ábra Impact befoglaló méretei és deformációja	40
28. ábra Bukócsövek és a sisak elhelyezkedése	40
29. ábra Bukókeret támasztó segédcső rögzítése	40

30. ábra Percy, a pilótasablon	41
31. ábra Övbekötések.....	42
32. ábra Mock-up	44
33. ábra Teszt a mock-uphoz.....	45
34. ábra F1 ülések.....	46
35. ábra Sarokmagasság	47
36. ábra Talp-szög	47
37. ábra A mock-up végleges kialakítása.....	48
38. ábra Különböző méretű pilóták a mock-upban.....	49
39. ábra Lengőkar csuklópontok lehetséges elhelyezkedése monocoque vázszerkezet esetén	50
40. ábra Osztósík elhelyezkedése a sablonokhoz képest	51
41. ábra Futómű-bekötések íves keresztmetszet esetén	51
42. ábra A futómű konzolok lehetséges helye (késsel).....	52
43. ábra Futómű bekötési pontok tervezése	52
44. ábra Példa íves oldalfal kialakításra	53
45. ábra A végleges koncepció egyenes oldalfal-kialakítása	53
46. ábra Lábtér	54
47. ábra Példa a járműorr kialakítására	55
48. ábra Példa hasáb keresztmetszetre	55
49. ábra Példa sokszög keresztmetszetre	56
50. ábra Alsó futómű panel kialakítások	57
51. ábra Oldalsó futómű panel kialakítások.....	58
52. ábra Példa fő-bukókeret csatlakozásra	59
53. ábra Előzetes geometriai kialakítás hátulnézetben.....	60
54. ábra Előzetes geometriai kialakítás felülnézetben.....	60
55. ábra Előzetes geometriai kialakítás oldalnézetben	61
56. ábra Végeleges geometriai kialakítás oldalnézetben	62
57. ábra Végeleges geometriai kialakítás felülnézetben.....	62
58. ábra Végeleges geometriai kialakítás: integrált pilótafülke, kijelző és beszállóperem	63
59. ábra Végeleges geometriai kialakítás	63
60. ábra Végeleges geometriai kialakítás, metszet 1.	64
61. ábra Végeleges geometriai kialakítás, metszet 2.	65

62. ábra Monocoque vázszerkezet.....	66
63. ábra Hátsó csőváz.....	67
64. ábra A 2013-as elektromos autó metszete	68
65. ábra A 2013-as elektromos autó CAD modellje és a Monocoque elhelyezkedése	68
66. ábra A teljes monocoque méretezési módszer	69
67. ábra A próbatestek gyártása	70
68. ábra Videó-extenderes anyagvizsgálat szakítógépen.....	70
69. ábra Próbatestek	70
70. ábra 3 pontos hajlítás, Shell modell, Hyperworks.....	71
71. ábra 3 pontos hajlítás, Solid modell, Abaqus	71
72. ábra A számított eredmények összefoglaló táblázata.....	72
73. ábra A mérőgép deformációjának kimérése, mérési összeállítás	73
74. ábra A mérőgép deformációjának kimérésének görbéje.....	74
75. ábra A mérőgép deformációjának kiértékelése	74
76. ábra 3 pontos hajlítás a formatesten	75
77. ábra A végleges formatest (v3) erő elmozdulás diagramja hajlításra	75
78. ábra Leolvasott értékek, és a formatest minősítése hajlításra	76
79. ábra Formatest nyírása.....	77
80. ábra A végleges formatest (v3) erő elmozdulás diagramja nyírásra	78
81. ábra Leolvasott értékek, és a formatest minősítése nyírásra	78
82. ábra Peremfeltételek a hátsó csőváz részen	79
83. ábra Első felső lengőkar terhelése	80
84. ábra Első alsó lengőkar terhelése.....	80
85. ábra Hátsó felső lengőkar terhelése	81
86. ábra Első alsó lengőkar terhelése.....	81
87. ábra Kormánygép rögzítése.....	82
88. ábra Himba axiális terhelése	82
89. ábra Himba radiális terhelése 1.....	83
90. ábra Himba radiális terhelése 2.....	83
91. ábra Rugóstag rögzítése	83
92. ábra Stabilizátor terhelése	84
93. ábra Összesen 56 darab különböző zóna található a monocoqueban.....	84

94. ábra A különböző zónák a valóságban és a VEM modellben	84
95. ábra Példa egy zóna megadására	85
96. ábra Tsai - Wu kritérium a bal oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan nem felel meg	85
97. ábra Tsai - Wu kritérium a jobb oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan nem felel meg	86
98. ábra Deformáció a szerkezeten I.	86
99. ábra Deformáció a szerkezeten II.	87
100. ábra Deformáció a szerkezeten III.	87
101. ábra Tsai - Wu kritérium a bal oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan nem felel még meg, az alsó részen további megerősítéseket (plusz rétegeket) igényel	88
102. ábra Tsai - Wu kritérium a bal oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan nem felel még meg, az alsó részen további megerősítéseket (plusz rétegeket) igényel	88
103. ábra Tsai – Wu (1) kritérium a bal oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan megfelel.	89
104. ábra Tsai – Wu (1) kritérium a jobb oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan megfelel.	89
105. ábra Tsai – Wu (0,7) kritérium a bal oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan megfelel.	90
106. ábra Tsai – Wu (0,7) kritérium a jobb oldalon, maximális terhelésnél. Jól láthatóan megfelel.	90
107. ábra Zónák a terméken	94
108. ábra felső felületfél	95
109. ábra alsó felületfél	95
110. ábra a felületek testté átalakítás után	96
111. ábra A testé alakítás után MDF darabokká alakítás	97
112. ábra Ellenőrzésképpen az MDF darabok virtuális összeállítása, felső darab	97
113. ábra Ellenőrzésképpen az MDF darabok virtuális összeállítása, alsó darab	98
114. ábra Kiosztott szeletek	99
115. ábra MDF rétegek összeszerelési ábrája	100
116. ábra összeszerelt szeletek	101
117. ábra Ősminta megmunkálás 3-tengelyű marógépben	101
118. ábra Ragasztás a megmunkálás közben	102
119. ábra A fényezett ősminta (alsó fél)	102
120. ábra A bekötési pontok furatait tartalmazó modell	103
121. ábra Az elkészült futómű furatok	103
122. ábra A 2010-es ősminták az FRT őskorszakában	106
123. ábra Üvegpaplan	109

124. ábra A telítetlen poliészter térhálósodásának exoterm hőeffektusa.....	111
125. ábra Elkészült szerszámfelek	116
126. ábra Példa az elkészült terítékekre.	121
127. ábra Letépcsőzövet az injektelást megelőzően	123
128. ábra Elkészült vákuumzsák az injektálást megelőzően	125
129. ábra A méretre vágott maganyag-darabok	127
130. ábra Maganyag belaminálása a külső héjba.....	128
131. ábra Az elkészült felső héj szélezése	130
132. ábra A ragasztó felkenése a felek összeragasztása előtt.....	131
133. ábra Szerelőnyílás a kész autón.....	132
134. ábra Fedélrögzítő furatok a laminátban.....	133
135. ábra Szerelőnyílás és fedél	133
136. ábra Rézháló a monocoque-ban	134
137. ábra Főkapcsolók és a measurement point a monocoque oldalán	137
138. ábra Az elődökön megfigyelhető vizuális elemek	138
139. ábra A végleges vizuális kialakítás, az FREC-003, Michaela.....	138
140. ábra Maszkolás: Chip Foosse-nak 2 perc, nekünk 8 óra volt	139
141. ábra „Az utód” (http://www.f1-live.hu/bulvar/hivatalos-az-elso-magyar-csapat-az-f1-ben-f1-live-hu-racing-team/).....	140
142. ábra Oklevelek a versenyeredményekről.....	142
143. ábra A BME Formula Racing Team Engineering Desing győzelme	143
144. ábra <i>Gyártási költségek megoszlása</i>	156
145. ábra <i>Költség a gyártási volumen függvényében</i>	156

XIII IRODALOMJEGYZÉK:

1. Rennwagenteknik: Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme
2. Milliken_&_Milliken_-_ (1995) _- _Race_Car_Vehicle_Dynamics
3. Military Handbook - MIL-HDBK-5H: Metallic Materials and Elements for Aerospace Vehicle Structures 1998
4. O. C. Zienkiewicz - The Finite Element Method Set, Sixth Edition, 2005, ISBN-10: 0750664312
5. 2013, 2012, 2011 Formula SAE® Rules (<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/>)
6. S&T Consulting Hungary Kft. Pro/ENGINEER oktatóanyag Structural and Thermal Simulation
7. Kollár György: Szerkezetanalízis tantárgy jegyzet
8. Székely Béla, Haász Ákos: Karbon kompozit monocoque vázszerkezet tervezése
9. Székely Béla, Varga Dávid: Karbon kompozit monocoque tervezése Formula Student versenyautóhoz, 2012 tavasz
10. Székely Béla, Varga Dávid: Karbon kompozit monocoque tervezése Formula Student versenyautóhoz, 2012 ősz
11. Asztalos Ferenc, Fodor András, Madarász Benjamin, Reichardt János, Székely Béla: Kompozit szerszámtervezés a Formula Student sorozatban
12. Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai. Műegyetem Kiadó, Budapest 2007
13. Czigány T., Szabényi G.: Polimer kompozitok technológiája jegyzet. BME, BSC 2013
14. COMPOSITE MATERIALS DESIGN AND APPLICATIONS: Daniel Gay, Suong V. Hoa, Stephen W. Tsai 2002

XIV MELLÉKLET 1.

Költség számítások:

XIV.1.1 MONOCOQUE LAMINÁLÁS KÖLTSÉGEI

		1 "A" csomag	2 "B" csomag	3 "C" csomag
Szövet		1080000	1080000	432000
Gyanta		0	0	86400
Lamináló felszerelés		21000	21000	21000
Segédeszközök "változó költség"		183960	183960	183960
Maganyag		120000	120000	120000
Inzertek		40000	40000	40000
Összeillesztés		5000	5000	5000
Szállítás		20000	20000	5000
Összesen:		1469960	1469960	893360
		Pre-preg	Pre-preg	Sima szövet

XIV.1.2 PRÓBALAMINÁLÁS KÖLTSÉGEI

		1 "A" csomag	2 "B" csomag	3 "C" csomag
Szövet		10368	10368	4147,2
Gyanta		0	0	829,44
Lamináló felszerelés		6225	6225	6225
Segédeszközök "változó költség"		1766,016	1766,016	1766,016
Maganyag		1440	1440	1440
Inzertek		10000	10000	10000
Összeillesztés		0	0	0
Szállítás		0	0	0
Összesen:		29799,016	29799,016	24407,656
		Pre-preg	Pre-preg	Sima szövet
Pre - preg csak nagy mennyiségben rendelhető, min 40m2 !				
Al méhsejt		20253	ft/m2	
Inzertek		2000	ft/db	
Textil bakelit		3000	ft/kg	

XIV.1.3 SES KÖLTSÉGEI

		1 "A" csomag	2 "B" csomag	3 "C" csomag
Szövet		259200	259200	103680
Gyanta		0	0	20736
Lamináló felszerelés		6225	6225	6225
Segédeszközök "változó költség"		44150,4	44150,4	44150,4
Maganyag		36000	36000	36000
Inzertek		10000	10000	10000
Összeillesztés		0	0	0
Szállítás		0	0	0
Összesen:		355575,4	355575,4	220791,4
		Pre-preg	Pre-preg	Sima szövet
		al méhsejt	20253	Ft/m ²
		inzertek	2000	Ft/db
		textil bakelit	3000	Ft/kg

XIV.1.4 LAMINÁLÓ FELSZERELÉS

"állandó költség"		
edény	500	Ft/db
ecset	400	Ft/db
aceton	1500	Ft/l
gumikesztyű	2500	Ft/100db
tömlő	2000	Ft/m

Egy "kis" lamináláshoz kell:		
edény	3	1500
ecset	3	1200
aceton	1	1500
gumikesztyű	0	25
tömlő	1	2000
Összesen:		6225

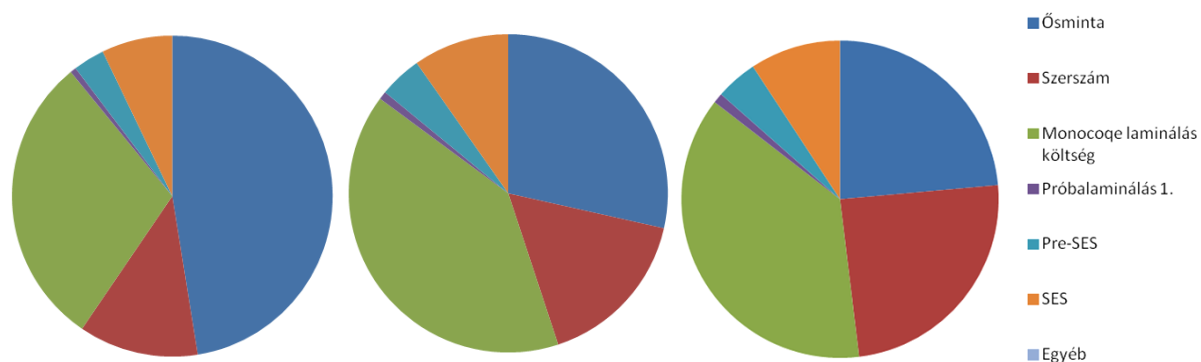
Egy "nagy" lamináláshoz kell:		
edény	10	5000
ecset	10	4000
aceton	5	7500
gumikesztyű	0,2	500
tömlő	2	4000
Összesen:		21000

XIV.1.5 VÁLTOZÓ KÖLTSÉG

"változó költség"		
vákuum tömtő szalag	1280	Ft/m
vákuumzsák	1100	Ft/m ²
letépőszövet	1000	Ft/m ²
gyantavezető háló	1000	Ft/m ²
szénszövet	6000	Ft/m ²
szerszámszövet	3000	Ft/m ²
szerszámgél	20000	Ft/kg
al méhsejt	20253	Ft/m ²
inzeretek	2000	Ft/db
textil bakelit	3000	Ft/kg
gyanta	6000	Ft/kg
szerszámgyanta	6000	Ft/kg
vákuum tömtő szalag	1280	Ft/m
vákuumzsák	1100	Ft/m ²
letépőszövet	1000	Ft/m ²
gyantavezető háló	1000	Ft/m ²
m ² -enként:	4380	

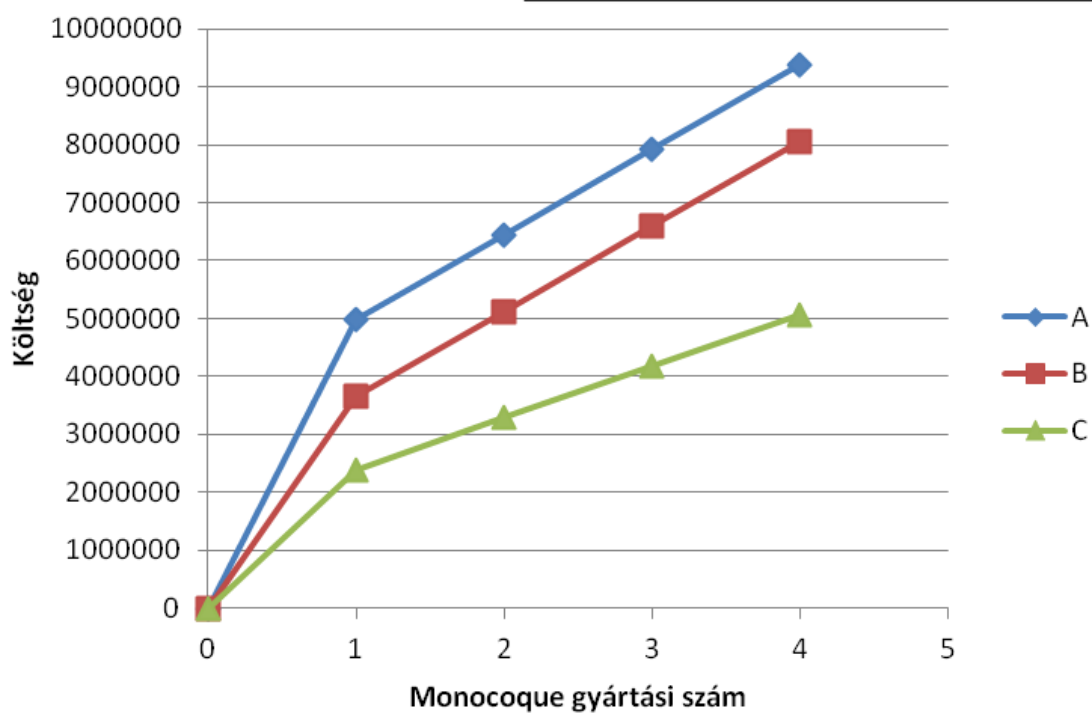
XIV.1.6 ÖSSZKÖLTSÉG

Monocoque gyártás költségei			
	1 "A" csomag	2 "B" csomag	3 "C" csomag
Ősminta	2 360 150,00	1 042 396,00	563 000,00
Szerszám	599 950,00	599 950,00	584 950,00
Monocoque laminálás költség	1 469 960,00	1 469 960,00	893 360,00
Próbaminálás 1.	29 799,02	29 799,02	24 407,66
Pre-SES	157 621,00	157 621,00	101 461,00
SES	355 575,40	355 575,40	220 791,40
Egyéb	-	-	-
Összesen (1. Monocoque+SES)	4 973 055,42	3 655 301,42	2 387 970,06
Összesen (további Monocoque)	1 469 960,00	1 469 960,00	893 360,00



144. ábra Gyártási költségek megoszlása

		1 "A" csomag	2 "B" csomag	3 "C" csomag
Szövet		270000	270000	270000
Gyanta		54000	54000	54000
Lamináló felszerelés		21000	21000	21000
Segédeszközök "változó költség"		229950	229950	229950
Összeillesztés		5000	5000	5000
Szállítás		20000	20000	5000
Összesen:		599950	599950	584950
üvegből számolva ! (10 euró/m ² áron)				



145. ábra Költség a gyártási volumen függvényében

