



B M E
F O R M U L A
R A C I N G
T E A M



Top-Down felépítésű modellrendszer Formula Student versenyautókhoz (Creo 2.0)

Készítette: Varga Dávid

Szak: Géptervező

Évfolyam: 1.

Intézmény neve: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Konzulensek:

Farkas Zsolt (egyetemi tanársegéd)

Marschek Zoltán (CAD szakértő)



BME GÉP- ÉS TERMÉKTERVEZÉS TANSZÉK
BME DEPARTMENT OF MACHINE AND PRODUCT DESIGN



Tartalom

1	Bevezetés	3
1.1	Eddigi tevékenységem a csapatban.....	3
1.2	Tapasztalatok egy Formula Student csapatban	5
1.3	Támogatási megoldások és support-ok.....	6
1.4	Az igények háttere.....	8
1.5	Célok.....	9
2	FS autók tervezése	10
2.1	Alapkoncepció.....	11
2.1.1	Pilóták	12
2.1.2	Pályák.....	12
2.1.3	Erőforrás.....	13
2.1.4	Gumi.....	13
2.2	Járműdinamika	14
2.3	Tervezés és iteráció	15
2.4	„Prototípusok sorozatgyártása”	19
3	Modellfelépítés eszközei	19
3.1	Top-down megoldások.....	19
3.2	Referenciakezelés.....	22
3.3	Skeleton modul.....	25
4	Modell felépítési irányok.....	25
4.1	Statikus modell	27
4.2	Dinamikus és analízis modellek.....	28
4.3	Részegységek.....	29
4.4	Skeleton felépítés.....	31
4.4.1	I. szint	32
4.4.2	II. szint.....	34
4.4.3	III. szint.....	38
4.4.4	Skeleton részegység szint.....	44

4.5	Dinamikus analízis modell.....	46
5	Beállítás környezet.....	52
5.1	Mapparendszer.....	52
5.2	Egyedi beállítások, sablonok.....	54
5.3	Kezelőfelület.....	55
6	Köszönetnyilvánítás.....	57

1 Bevezetés

1981-ben az Egyesült Államokban az SAE (Society of Automotive Engineers) elindította a Formula SAE versenysorozatot, melyben azóta évi mintegy 140 diákcsoport vesz részt. A sorozat mára Ausztráliától Európáig a világ számos pontjára eljutott. Európában a szervezést a I Mech E (Institution of Mechanical Engineers) vállalta magára évi három verseny rendezésével: Angliában (Silverstone-ban), Németországban (Hockenheim-ben) és Olaszországban (Fiorano-ban). Azóta több országban is szerveznek futamokat különböző szervezetek, többek között Graz-ban, Észtországban és 2010 óta már Magyarországon is.

A diákcsoportok versenyautó-tervezésben mérik össze a tudásukat. A küzdelem az autó megtervezésén és megépítésén túl, az autó köré felépített, teljes üzleti koncepció kidolgozásából és prezentálásából is áll.

A versenysorozat célja azonban nem csak a kiváló versenyautók tervezése, hanem a jövő mérnökgenerációjában rejlő lehetőségek kiaknázása is.

A versenyek lehetőséget nyújtanak a diákoknak, hogy fejlesszék és megmutassák tehetségüket, lelkesedésüket és elkötelezettségüket a mérnöki kiválóság iránt. Az iparágban dolgozó cégeknek ez a rendezvény kiváló alkalmat ad, hogy a csapatok támogatásával szorosabb kapcsolatot teremtsen a felsőoktatással, ill. hogy az egyetemekről, főiskolákról kikerülő műszaki értelmiség már olyan naprakész ismeretekkel rendelkezzen, amellyel megállhatja a helyét későbbi karrierje során.

1.1 Eddigi tevékenységem a csapatban

Országunkban 2008-ban alakult meg az első Formula Student csapat a BME-n, melynek megalakulása óta tagja vagyok. A csapat idén építette a negyedik versenyautóját, és eddig összesen hat versenyen vett részt szép eredményekkel.

Kezdetben csak újoncként, megfigyelőként vettem részt, hogy megismerjem a versenyt és a feladatokat, majd a második futamra – melyet Olaszországban rendeztek meg – elkísértem a csapatot, ahol megtapasztalhattam a rendezvény valódi hangulatát és átélhettem a csapatom izgalmait, megpróbáltatásait, sikereit és kudarcait. 2009-ben alakult egy fiatalabb generációjú csapat, melyben már aktív csapattag voltam, és részt vettünk az évi Silverstone-i futamon. Ezen a versenyen csak tervekkel indultunk és 3. helyezést értünk el. Az itt szerzett tapasztalatokkal álltunk neki a 2010-es versenyautó tervezésének és gyártásának, melyet a nyári szakmai gyakorlatom alatt sikeresen meg is építettünk. A versenyidőszak után az új tapasztalatokkal és élményekkel újult erőkkel kezdtük el tervezni a 2011-es autót, melynek tapasztalatait és eredményeit felhasználtuk a 2012-es versenyautó tervezésekor.

A 2011-es és 2012-es csapatban az autó teljes 3D modelljének felépítése, működtetése és felügyelése, továbbá a hajtáslánc csoport egyik vezetőjeként a

versenyautó váltómechanizmusának megtervezése, váz gyártásának felügyelése, kormányrendszer megtervezése és legyártása, ill. az egész versenyautó gyártásának felügyelése is része volt a feladataimnak, felelősségeimnek.



2010



2011



2012

1.2 Tapasztalatok egy Formula Student csapatban

A Top-Down design-nal már 2008-ban elkezdett az előttünk levő csapat foglalkozni. Akkor még Solid Works 2007-esben folyt a tervezés. A csapat 2009-ben állt át Pro/Engineer WF4-es CAD programra. A parametrikus tervezésről ismert program számos lehetőséget biztosít a felhasználók számára a felülről-lefelé történő tervezésre, melyet azóta sikeresen kiismert a csapat, azonban számos probléma merült fel ennek a tervezési elvnek és folyamatnak a megvalósításakor, melynek szakaszait és megoldásait, ill. saját fejlesztéseim szeretném bemutatni.

A Formula Student versenyek évente kerülnek megrendezésre. A versenyek nagy többségét a nyári szünet időtartama alatt rendezik meg, így gyakorlatilag a versenyek üteme megegyezik egy tanév időtartalmával, bár vannak csapatok, akik kétevente neveznek csak. A Formula Student versenyen három féle kategóriában lehet versenyezni

- I. Versenyzés tervekkel: a csapat megismerkedik a versennyel, vagy egy meglévő csapat újoncai saját tervekkel neveznek
- II. Versenyzés „új” autóval: ezen belül én három alkategóriát különböztetnék meg
 1. Új csapatok: első éves kezdő csapat egy elkészült versenyautóval neveznek
 2. Megújult csapat koncepcióváltással: régebb óta működő csapat tagjainak nagy része lecserélődik, új koncepciót próbálnak ki (pl. motorváltás)
 3. Tapasztalt csapat koncepcióváltással: a csapattagok nagy része több mint egy éve versenyzik, új irányt próbálnak ki, vagy nagy fejlesztésbe vágnak, pl. acél csőváztól karbon vázra váltanak
 4. Tapasztalt csapat továbbfejlesztéssel: az autó nagy része minimálisan módosul, pl. újragyártják a vázat kisebb futómű bekötési pont változtatással, vagy más rétegrenddel monocoque esetén
- III. Versenyzés 1 éves módosított autóval: az autó vázát és főbb részeit meghagyják, de tovább tesztelik, és pár részegységet átmódosítanak, javítanak

Ezek közül az első 5 kategória (alkategóriákkal együtt) esetében a CAD modell terén is nagyobb módosítások, ill. teljes újjáépítés szükséges, hiszen a változtatás annál magasabb szintű, minél több alegységet érint a módosulás. Ilyen változtatásokon a csapatunk már több ízben is átesett már, melyekből rengeteg problémánk adódott, viszont sok tapasztalatot szeretünk és szereztem.

- 2008-2009: I. kategória
- 2009-2010: II./1. kategóriába
- 2010-2011: II./4. kategória, elektromos csapat II./1. kategória
- 2011-2012: III. kategória, elektromos csapat II./2. kategória
- 2012-2013: II./3. kategória, csak elektromos csapat

Látható tehát, hogy a versenyévadjaink elég változatosak voltak, ebből nyertük a legtöbb tapasztalatunkat, ezért a többi csapattal szemben – véleményem szerint – ebből tudtunk nagy előnyt kovácsolni az évek során. Ennek a sikeres megvalósításához olyan parametrikus tervezési eszközre és gondolkodásmódra volt szükségünk, mely ekkora változtatásokat túl tudott élni, miközben fejlődött is.

A legmagasabb szintű problémát a program betanulási ideje jelentette, mivel a Pro/Engineer leginkább ipari környezetben terjedt el, közismert, hogy ugyanazon problémának a megoldására számtalan módszer dolgozható ki, de a modellrendszer egészét nézve nehéz rájönni, melyik megoldás alkalmazható általánosan az egész modellezés folyamán, és melyik csak egy adott problémára. A megoldások sokasága miatt ezért rengeteg hibába ütköztünk, ami lényegében a referenciák gondatlan kezelése és a felhasználónként változó gondolkodásmód következménye volt. Ennek felismerése okán kezdtünk el olyan lépéseket tenni, amely egy egységes referenciarendszer kialakítása felé tesz lépéseket, ill. olyan felépítési elvet követ, ami a Formula Student versenyautók tervezését folyamatában követi.

A versenyévad ideálisnak és átlagosnak mondható időbeosztása a rendelkezésre álló idő függvényében az alábbi ábrán látható. Ezt eddigi tapasztalataim alapján állítottam össze, ill. más jól működő csapatok tapasztalatai alapján.

Az autókat tervező diákok a verseny jellegéből adódóan mérnökjelöltek, így az elsődleges hangsúly inkább a tervezésen, mint a gyártáson van, tehát a tervezés teljes mértékben diákmunka, a gyártásnál azonban a csapatok nagy többsége támogatói segítséggel készíti el az autó egy részét.

1.3 Támogatási megoldások és support-ok

A Formula Student nemzetközi szinten egyre nagyobb méreteket ölt, így a versenyalkatrészek sokasága gyakorlatilag egyre nagyobb piacot csinál a különböző versenyalkatrész beszállítóknak. Már egészen nagy és komoly technológiai és történelmi háttérrel bíró cégek is gyártanak kifejezetten erre a versenysorozatra fékrendszereket (AP Racing, 1. ábra), verseny differenciálművet (Drexler), rugóstagokat (Öhlins, 1. ábra) egész hajtásláncot (Mahle), szimulációs szoftvereket (IPG Carmaker), stb. Joggal mondhatjuk tehát, hogy ez a verseny eljutott arra a szintre, hogy az ott alkalmazott termékeknek igen komoly reklám- és szakmai értéke legyen. Ebből következik, hogy lassan a tervezést, gyártást és versenyzést segítő termékek versenyképességét hűen tükrözi a Formula Student versenyen való elterjedtsége.



1. ábra: Öhlins rugóstag és AP Racing féknyereg

Mivel a verseny, a mérnöki tevékenység minden apró tudományágát lefedi, így a CAD szoftverek is központi szerepet játszanak a Formula Student piacán. A németországi futam egyik legnagyobb támogatója az Autodesk, ill. régebben Solid Works és Catia CAD programot forgalmazó Dassault Systèmes. Elsőként a Solid Works jelentette be, hogy egyedi programcsomag összeállítást és teljes supportot nyújtanak azoknak a Formula Student csapatoknak (2. ábra), akik igénybe veszik és elnyerik a támogatási csomagjukat. Ez által ez a program nagyon gyorsan elterjedt, a program tanulását pedig videó anyagokkal is segítették, így előnyös volt ezt a programot választani. Azóta Az Autodesk-nek és a PTC-nek is létezik szponzorcsomagja (3. ábra). A PTC leginkább amerikai versenyeken terjedt el, de az európai futamokon is egyre többször látni.

**SolidWorks Student Edition**

- A personal 3D CAD license with advanced surfacing
- Motion Analysis for kinematic/dynamic simulation, including event-based studies
- FEA (Finite Element Analysis) for structural, thermal, impact, and optimization studies
- CFD (Computational Fluid Dynamics) for fluid and thermal studies
- Environmental Impact Analysis of carbon footprint, energy use, material comparison, and more
- Costing Analysis estimates of part manufacturing costs that adjust whenever you modify your design
- Workgroup PDM data management software to track revisions, ownership, and more for your SolidWorks models and related design documents

Certified SolidWorks Associate Exam

- Each member of your team may take the CSWA exam free of charge

Learning Resources

- Over 100 [tutorials](#) built right into the SolidWorks product, including one [specially developed for Formula competition](#)
- [30 YouTube videos](#) in the SolidWorks Formula SAE tutorial playlist

SolidWorks Education Facebook Page

- View the latest tips and tricks from SolidWorks experts as well as your peers
- Share your ideas
- Post your models and get feedback

2. ábra: SolidWorks támogatási csomag tartalma



Every team member receives:

- [Creo Academic Edition](#) - 2D and 3D parametric design tool and [Expert Framework Extension](#) for your chassis design
- [Mathcad Prime 2.0](#) - Engineering calculation and documentation software
- [eLearning Libraries](#) - 3,000+ hours of industry recognized online tutorials, perfect for new members and for your resume
- [Access to the PTC Global Talent Hub](#) - Find careers with PTC customers

Want to see the software in action? [Visit the PTC Academic Program YouTube page for tutorials!](#)

Become a fan on Facebook: "[PTC Academic Program](#)"

*RIT photos courtesy of Ashley Shoum, RIT graduate

[▶ Register Your Team Today!](#)

3. ábra: PTC támogatási program tartalma

1.4 Az igények háttere

Egyetemünkön jelenleg több tantárgy keretében is tanulhatunk CAD programokat, köztük a Pro/Engineer utódját a Creo Elements/Pro-t és hamarosan a Creo 2.0-t is. A tananyag lefedi azokat a részeket, amely a tervezéshez szükséges műveletelemeket kezeli, azonban a Top-Down design gondolkodást csak pár órán lehet tárgyalni, mivel az adott kredit szám és idő ennyire ad lehetőséget. Ez a probléma más egyetemeken is jelen van, tehát önmagában az egyetemen oktatott tananyag nem elegendő ahhoz, hogy a hallgatók képesek legyenek egy csoportmunkára képes Top-Down modell rendszert összeállítani.

Ipari kapcsolatainkon keresztül ismertük meg, ez nagyobb vállalatoknál miként működik. A tervezők egy ún. tervezési útmutató alapján dolgoznak egy teljesen cég-specifikus beállítás környezetben. Ennek alapját pontosan rögzített szabályok és ellenőrzőrendszerek képezik. Egy ilyen környezet nagymértékben segíti és lehetővé teszi a több fős csoportmunkát. Minél nagyobb a csoport, annál nehezebb kezelni az eltérő gondolkodásmódot és nehezebb visszakövetni egy többszörösen összetett rendszeren belül mi okozza a hibát. Ezek az útmutatók, ill. beállítások a programot használó cégek

Know-How-jába tartoznak, ezért természetesen nem nyilvánosak (jogvédtettek is), így hasonló probléma felmerülése esetén nincs, vagy csak apró részleteiben kaphatunk információt a megoldási lehetőségekről.

Ennek kapcsán merült fel az az igény és a szükség, hogy a saját modellrendszerünket magunknak kell kitalálni és fejleszteni. Ezzel a problémával természetesen minden egyetemi Formula Student csapat találkozik, a fejlődésének kezdeti szakaszaiban, de meg merem kockáztatni a kijelentést, hogy a kisebb cégek is találkoznak ezzel a problémával, hiszen a CAD szoftver csak az eszközt biztosítja egy ilyen bonyolult rendszer összeállításra.

A Formula Student alapötlete abból indult ki, hogy az iparnak olyan munkaerőre van szüksége, amely sokkal tapasztaltabb az átlagos diplomát szerzett erőforrásoknál, nagy csoportmunkás gyakorlati tudással rendelkezik és nem csak a saját szakterületére van rálátása, hanem egy adott termék teljes életszakaszára. Az egyetemi padokon belül nagyon általánosan, sok félévre és tantárgyra szétosztva próbálják nekünk ezeket tanítani, melyet nehezít a tanáronkénti és tanszékenkénti változó szakmai hozzáállás. Egy ilyen projekt, mint a Formula Student kiváló lehetőség arra, hogy a mérnökök saját bőrükön tapasztalják meg szakmájuk nehézségeit és magasabb szintű problémáit; úgymond egy ízben érezzék meg a különböző szakterületekkel való együttműködés nehézségeit és kihívásait. Mivel egy ilyen csapatban való részvétel általában megtiszteltetés számba megy, a motivációt nem a megszerzett kreditszám, vagy a jegyek biztosítják, hanem a teljes önmegvalósítás lehetősége és végül egy igazi versenyen való részvétel, ahol mindenki célközönségnek mutathatja be értékes munkáját és eredményeit.

Joggal mondható tehát, hogy a Formula Student egy komoly lépcsőt jelent az egyetemi tanulmányok és a munkahely közti emelkedőn. Ennek a lépcsőnek a meglépéséhez úgy gondolom, CAD terén az ilyen csoportoknak átfogó segítséget nyújtana egy olyan modellrendszer, amely már tartalmazza egy kiforrott és működőképes Top-Down design minimális Know-How-ját, gondolkodásmódját és szabályait.

1.5 Célok

Az ötletem tehát egy olyan támogatási csomag összeállítása, amely az eddigi csomagokon (program, licenszek, support, segédanyagok) felül egy leegyszerűsített Top-Down rendszerben felépített paraméteres versenyautó alapot is tartalmaz. Ez a „termék” kiválóan illeszthető a program történelméhez, hiszen elterjedését a teljesen újszerű parametrikus tervezésnek köszönheti, amely azóta igen nagyra nőtte ki magát.

Az ötletből kiindulva a következő célokat lehet megfogalmazni:

1. A program népszerűsítése az Formula Student „piacán”
2. Érje meg ezt a programot választani a csomaggal
3. Közvetlen visszajelzések szerzése a jövő generációjától
4. Kezdő csapatok megsegítése (programválasztás/népszerűsítés)

5. Betanulási idő csökkentése és egy kis kis know-how tartalom, előny, de nem korlát a többi támogatási megoldással szemben, cél a gondolkodásmód gyorsabb kitanulása
6. Komplex modell kezelése
7. Szükség van egy kész jól működő modellfelépítésre, mint példa, mely eszköz is lehet
8. Know-how tartalom, irányelvek felkínálása
9. Fiatal és új generáció képzése
10. Fórum, közös adatbázis, letölthető elemek

Ezek elérésére a következőkre van szükség:

- CAD program és hozzá sok részmodult tartalmazó egyetemi licenszek
- Top-Down felépítésű modellrendszer, amely tartalmaz egy kész példát is a gondolkodásmód teljes megértése érdekében
- Segédlet és útmutató a modell kezelésére és testre szabására
- Bemutató a felépített rendszer létrehozásáról
- Javaslat egy egyszerűsített adatbázis kezelés megvalósítására
- Webes felület a kiépíteni kívánt közösség információ- és adatcseréjéhez

Az első pontot az általunk használt Creo Parametric 2.0 a program forgalmazójának köszönhetően biztosítva van, ill. az előző években is biztosítva volt, többek közt ennek is köszönhető, hogy autóink nagy többsége ebben a programban készült el és így tapasztalatainkat meg tudjuk osztani. Az ezt követő pontok közül az utolsót kivéve megoldásokat dolgoztam ki, melyek a csapatunk és a saját tapasztalataim alapján dolgoztam ki.

2 FS autók tervezése

A versenyautók tervezését általában nagy titkolózás veszi körül, azonban manapság már elmondhatjuk, hogy vannak olyan alapok, amelyek már nyilvánossá váltak az idő folyamán, hiszen ma már köztudott tények, hogy miért simák a versenygumi futófelületek, vagy az, hogy miért prioritás tervezésnél az alacsony súlypont és a kis tömeg. Ezek természetesen egyszerű példák, aki viszont kicsit is mélyebbre ássa magát a témában, azok előbb utóbb megtalálják azokat az alapelveket, melyek a versenyautó tervezés alappilléreit képezik. Ezek irodalom formájában is megtalálhatóak ám nagyon nehéz őket beszerezni, ill. nagyon komoly pénzért oktatásokat is tartanak a szakma nagyjai. Az alapelvek szakmai berkeken belül általában ismertek, ill. a csapatok többségét olyan ember, vagy emberek koordinálják, akiknek van valamennyi jártasságuk vagy tapasztalatuk a versenysportban.

A támogatási csomagban levő anyag ezekből az alapelvekből szerepelne valamennyi, ellenben ezeknek az információknak a birtoklása nem biztosítaná a csapat

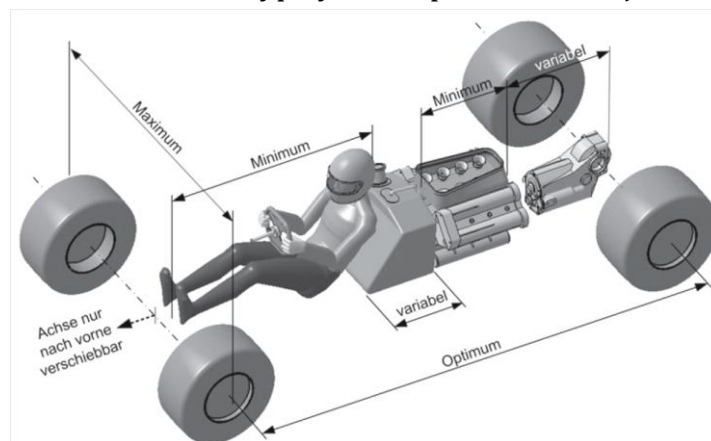
sikereit, csupán útmutató, hogy a csapatok milyen úton induljanak el. Ez alatt értem konkrétan a versenyautók tervezésének legalapvetőbb irányelveit, futómű alaptulajdonságait meghatározó geometriai paraméterek szerkesztéseit, és az alapbeállításokat. Ezekről a következő három fejezetben térnék ki részletesebben.

2.1 Alapkonceptió

A versenysportra készülő termékek majdnem egyenes ellentétei a közhasználatban levő termékeknek, hiszen a tervezésükhöz szükséges megkötéseket, peremfeltételeket általában szabványokból, statisztikai adatokból és némi piaci stratégia alapján határozzák meg. Az elkészült termék rendeltetése, hogy a lehető legtöbb felhasználó igényét elégítse ki a stratégia által meghatározott időtartalon belül, azaz az új termék bevezetésének kezdetéig. A versenysportra készülő termékek azon alapulnak, hogy az adott versenyszámokra, az adott pályára vagy pályákra, adott időtartamra és adott pilótára (felhasználóra) tökéletesen megfeleljenek és lehetőleg nagyságrenden belül úgy viselkedjenek, ahogy azt előre megtervezték.

Egy versenyautó és esetünkben egy Formula Student versenyautó alapkonceptióját négy fő pont határozza meg (4. ábra):

1. A pilóta vagy pilóták
2. A versenypálya
3. A jármű erőforrása
4. És amivel a fentieket a versenypályával kapcsolatban tarjuk



4. ábra: Alapkonceptió fő egységei

Természetesen léteznek más megfontolások, mellyel felépíthető a versenyautó alapkonceptiója. A verseny szabályzata természetesen az autók alapkonceptiója szempontjából nagyon komoly megkötéseket tesz, ami egyfajta segítség is diák mérnökpalántáknak, de elég nagy teret hagy a mérnöki kreativitás kibontakoztatására is.

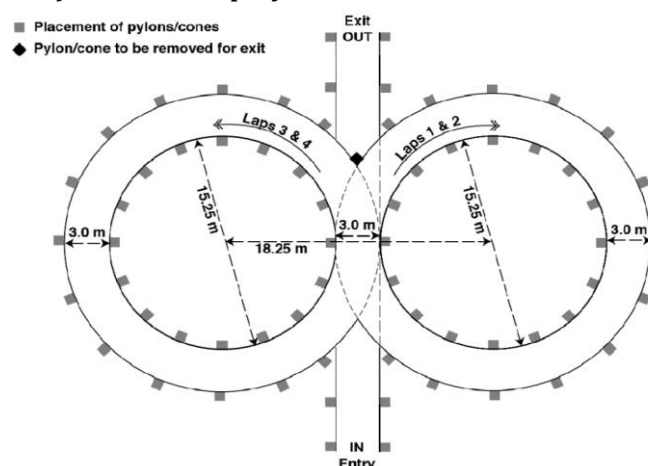
2.1.1 Pilóták

A verseny szabályzata megköti, hogy a versenyautókat úgy kell megtervezni, mintha egy hobbiversenyzőnek készülne, ezen belül a versenyen kizárólag előre kiválasztott 4 csapattag vezetheti. Minden versenyszámon kétszer indulhat egy pilóta, ill. egy pilóta csak két dinamikus versenyszámban vezethet. Ez kellő szórást ad arra nézve, hogy a pilóták nem fogják pontosan egyformán vezetni az autót, és elenyészően kicsi az esély arra, hogy minden pilóta egyformán tudja a határon tartani az autót. Ez elmondható akkor is, ha a hobbiversenyzők egy csoportját nézzük. Az élen versenyző Formula Student csapatok tehát ennek okán pl. sokkal több időt szánnak a tesztelésekre és a beállítások próbálgatására, hogy a pilóták megszokják az autót. Egy profi pilóta pár körön belül bármilyen versenyautónak a határállapotait meg tudja találni, ezt saját autónkon is tapasztaltuk. Itt megemlíteném még a pilóta előre kiválasztott pozícióját is, hiszen a pilóta jelentős tömegszázalékot képvisel az autó tömegét tekintve; nem mindegy, hogy a pilóta hosszan és alacsonyan kerül el a tőle alig nagyobb szerkezetben, vagy magasan, teljesen felülteve. Ez a hobbiversenyző szempontjából is pl. nagyon lényeges, hiszen nagyon extrém pozíciókban egy átlagos versenyző közel sem tud úgy teljesíteni egy versenyen, mint a profi pilóta.

2.1.2 Pályák

A dinamikus versenyszámok négy részből állnak, melyekhez a versenypálya az első két esetben teljesen kötött, a második kettő, pedig szabadon alakítható ki az adott pályaelemekből, mint pl. legkisebb fordulókör, leghosszabb egyenes, szlalom méretei, legnagyobb sugarú kör, síkán, hajtúkanyar...

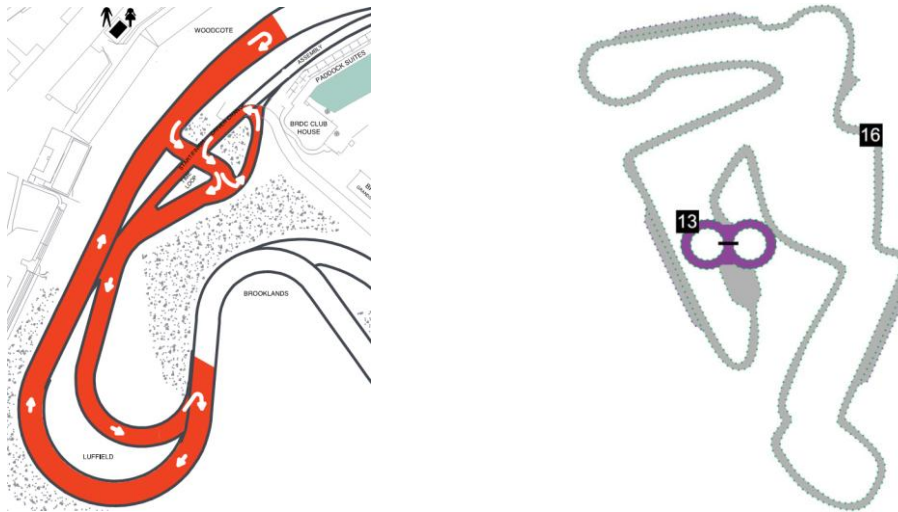
- Gyorsulás: 75 m-es egyenes szakasz
- Skit-pad (5. ábra): 8-as alakú pálya



5. ábra: Skit-pad pálya

- Autocross vagy sprint (6. ábra): szlalom szerű hosszabb összetett technikás pálya, melyen a két pilóta 2x mehet, a pálya nyitott és a leggyorsabb időt nézik

- Endurance (6. ábra): általában teljesen megegyezik az autocross pályával, különbség, hogy a pálya zárt, tehát körbezárul, a két pilóta 2x11 km-t kell, hogy levezessen, tehát fél távnál pilótacsere is van



6. ábra: Endurance és Autocross pálya variációi

2.1.3 Erőforrás

A jármű erőforrása jelenleg alternatív és belső égésű is lehet. Belső égésű motoroknál 610 cm³ lehet a maximális lökettér, melyből nyomatékkarakterisztikától függően maximum 100-110 lóerő nyerhető ki biztonságosan. A csaptok nagy része azonban ettől kisebb motorokat is alkalmaz, gyakoriak pl. a 450, 600 cm³-es egyhengeres változatok, ebből fakadóan az autó tömege és fogyasztása is lecsökken. Az alternatív hajtáslánc terén az elektromos rendszerek akkumulátoraiból maximum 85 kW-os teljesítmény vehető fel.

2.1.4 Gumi

A versenyautó viselkedését legjobban befolyásoló következő elem a pálya felülete és a gumi, mellyel az autót a pályán tartjuk. Számos gyártó készít a versenyre megfelelő gumiszettet ezekre a versenyre, többüknek külön Formula Student gumiszettjük is van, mint pl. Continental, Hoosier, Avon. A gumikeverékek gyártónként nagyon eltérőek, így méreteik és viselkedésük nagyon eltérő. A versenyautó, tehát akkor tud elméletileg a leggyorsabb lenni, ha az alapkoncepciót tekintve úgy van felépítve és versenyeztetve az autó, ha a gumikat maximálisan ki tudja használni; a tervezett időtartamon belül lehetőleg állandóan a határtapadáson üzemel.

A fenti elemek megválasztása határozza meg a versenyautók alapkoncepcióját legnagyobb mértékben. A tervezés és modellezés további szintjein tehát mindig azt kell figyelembe venni, hogy mi kell ahhoz, hogy a kitűzött koncepciót pontosan úgy tudjuk megvalósítani, hogy ne vesszen el az értelme. Ha ezeket az elemeket egy csapat lefixálta, onnantól kezdve lehet pl. beszélni az autó tervezésének alapkoncepciójáról, mint pl.

milyen súllyal szerepeljen a tervezésnél az egyszerűbb gyártástechnológia, megbízhatóság, tömeg, súlypontmagasság, kerekenkénti tömegeloszlás, anyaghasználat, aero, állíthatóság, innováció, költségvetés...

2.2 Járműdinamika

A pályán haladó jármű egészét tekintve három alapegységről beszélhetünk, mely a a szimulációs modellezés szempontjából nagyon lényeges:

- I. Kerekek és tengelycsonk: viselkedésüket tekintve mozgásuk nem egyezik meg a váz és a futómű elemek mozgásával, céljuk a maximális tapadáson való folyamatos üzemelés
- II. Vázszerkezet: a pilótát körülvevő szerkezet, a kerekek által tartott teher, mely az összes irányítószervet, tartalmazza, hordozza az erőforrást
- III. Futómű: lényegében a futómű rudazat elemeit sorolnám ide, célja, hogy összekösse a vázszerkezetet a kerekekkel, még hozzá úgy, hogy segítségével a vázszerkezet úgy mozogjon, és úgy terhelje a kerekeket, hogy az elősegítse a kerekek folyamatos, ideális tapadáshatáron való tartását

Az utolsó pontban megfogalmazott probléma fő forrása a gumi matematikai modellezésének nehézségeiből adódóan egy több ismeretlenes probléma, melyre, csak közelítő számítások és szimulációk léteznek. A versenysport nagyjai ezért mérések sokaságából következtetnek arra, hogy az adott gumibroncs az adott üzemállapotban milyen tapadási tulajdonságokkal rendelkezhet. A futóművek tervezésekor ebből kifolyólag a tervezések kezdeti szakaszán nagyfokú egyszerűsítések mellett felvesznek olyan statikus paramétereket melyekkel megközelítőleg visszavezethető milyen lesz az autó mozgása és a gumi kihasználtsága. A pontosabb számítások érdekében azonban szimulációkat futtatnak, melyek teljesen más modellezési elv alapján működnek, mint a CAD rendszerek.

A versenyautók futómű karakterisztikájának tervezése épp ebből kifolyólag két párhuzamos ágon történik általában:

- CAD tervezés: a futómű geometriai vonatkozású paramétereire szűkül, a futómű szerkezet más részegységhez való kapcsolódásának problémájával foglalkozik. Ilyenek pl. a váztopológiai iterációk, futómű erő, állítási lehetőségek, mozgástartományok, stb.
- Jármű szimuláció: a jármű részeinek mechanikai és fizikai paraméterekkel való helyettesítésével és egyszerűsítésével foglalkozik. Célja a különböző paraméterek hatásának és érzékenységének vizsgálata. Ilyen pl. a futómű bekötési pontjainak változtatása, ennek hatása egy adott versenypálya köridejére, a gumi melegedésére, keréktalpponti erőkre, kerékdőlésekre, átterhelődésekre, stb.

Ezen a két ágon elméletileg a végtelenségig lehetne iterálni, de pl. egy hétvégi versenyző vezetéstechnikai képességeiből adódó szórások nagyságrendekkel

nagyobbak, mint amilyen pontossággal vizsgálni lehet a határállapotokat egy szimulációs programban. A szimulációs eredmények a csapatunkban szerzett tapasztalataim alapján általában irányadó elveket adnak a futóműelemek tervezésekor, ellenben a tervezés egyik legfontosabb és legnagyobb prioritással bíró aspektusa, ezeknek az irányoknak a meghatározása.

A modellrendszer felépítésénél, tehát kiemelt szerepet kap a Top-Down gondolkodásmódban a futómű, mivel a két legnagyobb egység közti kapcsolatot teremti meg, rendkívül lényeges a megválasztása.

2.3 Tervezés és iteráció

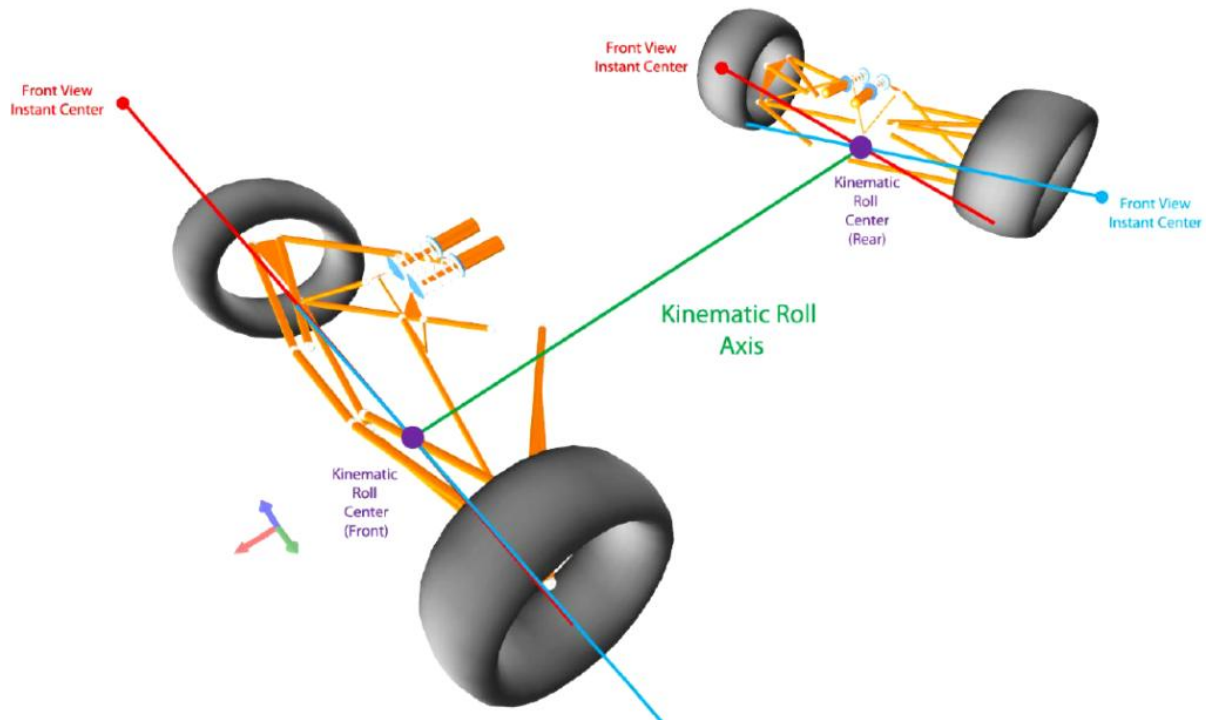
A tervezéshez a fent leírtak alapján tehát a tervezés minden esetben több szálon kell, hogy fusson. A párhuzamos tervezés problémája a munkámban több helyen is az egyik legnagyobb probléma, melyeket általában csak részlegesen lehet megoldani, bizonyos kompromisszumok mellett. A párhuzamos tervezés fő problémája, hogy sokszor ugyanaz az információ egyszerre két helyen nem lehet kezelhető. Ez a probléma legelőször ott jelentkezett, hogy a különböző szimulációs programok nem kompatibilisek a paraméteres Creo modellel, tehát minden változtatás után külön konvertálásokra van szükség, mely rendkívül időigényes, ugyanakkor általában van lehetőség bizonyos szintű parametrikus modellt felépíteni a szimulációs programokban is, pont emiatt.

A futómű tervezés alapjainak megértése után körvonalazódott, hogy melyek lehetnek azok az aspektusok, melyeknek beépítése a CAD modellrendszerbe megkönnyítheti a szimulációs tervezést és esetleg az iteráció kezdeti egyszerűsített részét is átveheti. Ezeknek az alapfogalmai a következők:

Dőléstengely (Roll Axis)

A gumi kihasználtságának egyik fő meghatározója a keréktalpponti erők menet közbeni eloszlása, ugyanis a talajra merőleges komponens határozza meg főként az átvihető maximális nyomatókót, ill. hossz és oldalirányú erőket a tapadás révén. Ennek menet közbeni változását úgy írják le a szimulációs programok, hogy egy adott pillanatban kiszámolja az egész jármű megközelítőleg milyen térbeli tengely körül fog elfordulni. Ezt a tengelyt dinamikus állapotokban nem lehet kiszervezni, mivel közelítő módszerrel történik a számlása; adott időpillanatban kiszámolja a tengely helyzetét, majd az autó tehetetlenségi mátrixa és a keréktalppontban ébredő erők eloszlása alapján kiszámolja adott időegység alatt a térben milyen irányban mozdul el ez a tengely.

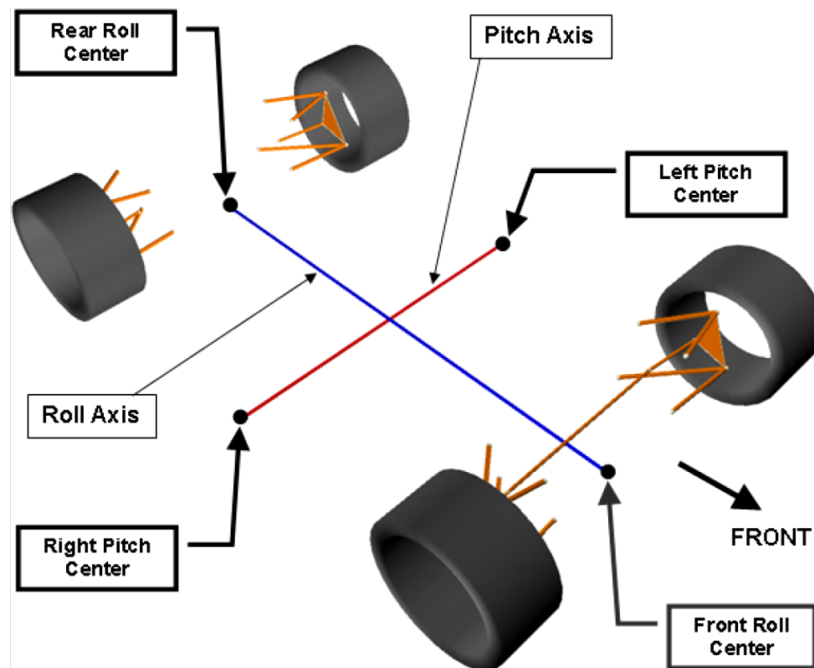
A tengely helyzete úgy szerkeszthető ki, hogy az első és a hátsó két kerék forgástengelyét összekötő hossztengelyre merőleges sík kerekenkénti pillanatnyi forgáspontját (Instant Center) és az adott kerék talppontját összekötő vonalak metszéspontját összekötjük (7. ábra).



7. ábra: Dőléstengely szerkesztése

Bólintás tengely (Pitch axis)

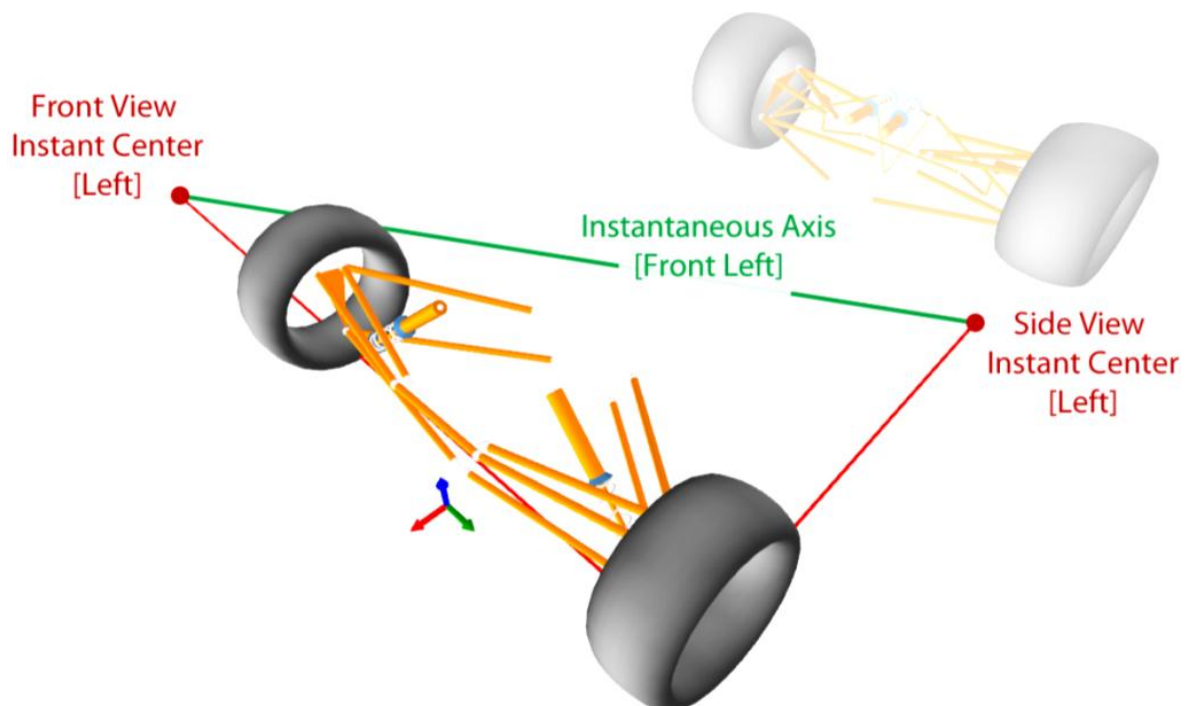
Menet közben a kasztni mozgása nem csak egy tengely körül való elfordulással írható le, hiszen a futóművek nem párban vannak, hanem külön-külön is mozoghatnak. Emiatt kialakul még egy tengely, mely körül bólint az autó. Ez a tengely az első és a hátsó futómű között helyezkedik el, statikus helyzetben merőleges a hossz tengelyre (8. ábra). A tengely számítási módja megegyezik a dőléstengelyével, helyzetét tehát csak közelíteni lehet.



8. ábra: Bólintás tengely

Pillanatnyi tengely (Instantaneous Axis)

A pillanatnyi tengely határozza meg azt a forgástengelyt, amely körül a vizsgált kerék pillanatnyilag elfordul. Ez egy térben elhelyezkedő tengely, melyet az adott kerék előlnézeti és oldalnézeti pillanatnyi forgáspontját összekötő egyenes. Az oldalnézeti forgáspont az adott kerék forgástengelyére merőleges, a keréktalpponton átmenő síkon elhelyezkedő pont. Egy adott kerék pillanatnyi forgástengelye azonban nem vonatkoztatható el a többi kerék mozgásától, ezért egy adott kerékhez csak két vonal tartozik, melyek az alábbi ábrán pirossal vannak jelölve. Ezek a vonalak (Contact Patch Line 4.4.2 utolsó előtti ábra) metszik egymást az elől és oldalnézeti síkon, ezekből alakul ki a pillanatnyi két forgáspontja (9. ábra).

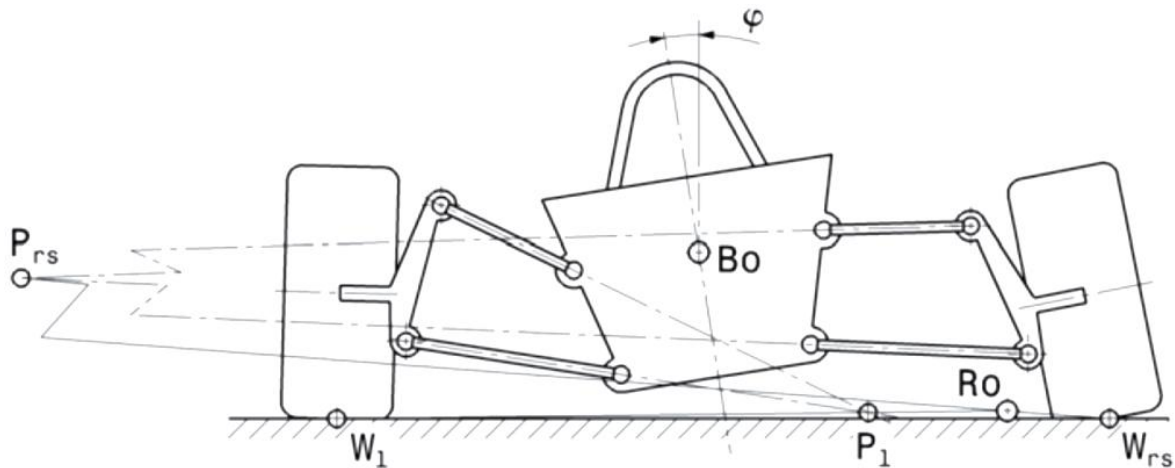


9. ábra: Pillanatnyi forgástengely

Instant Center, Roll center

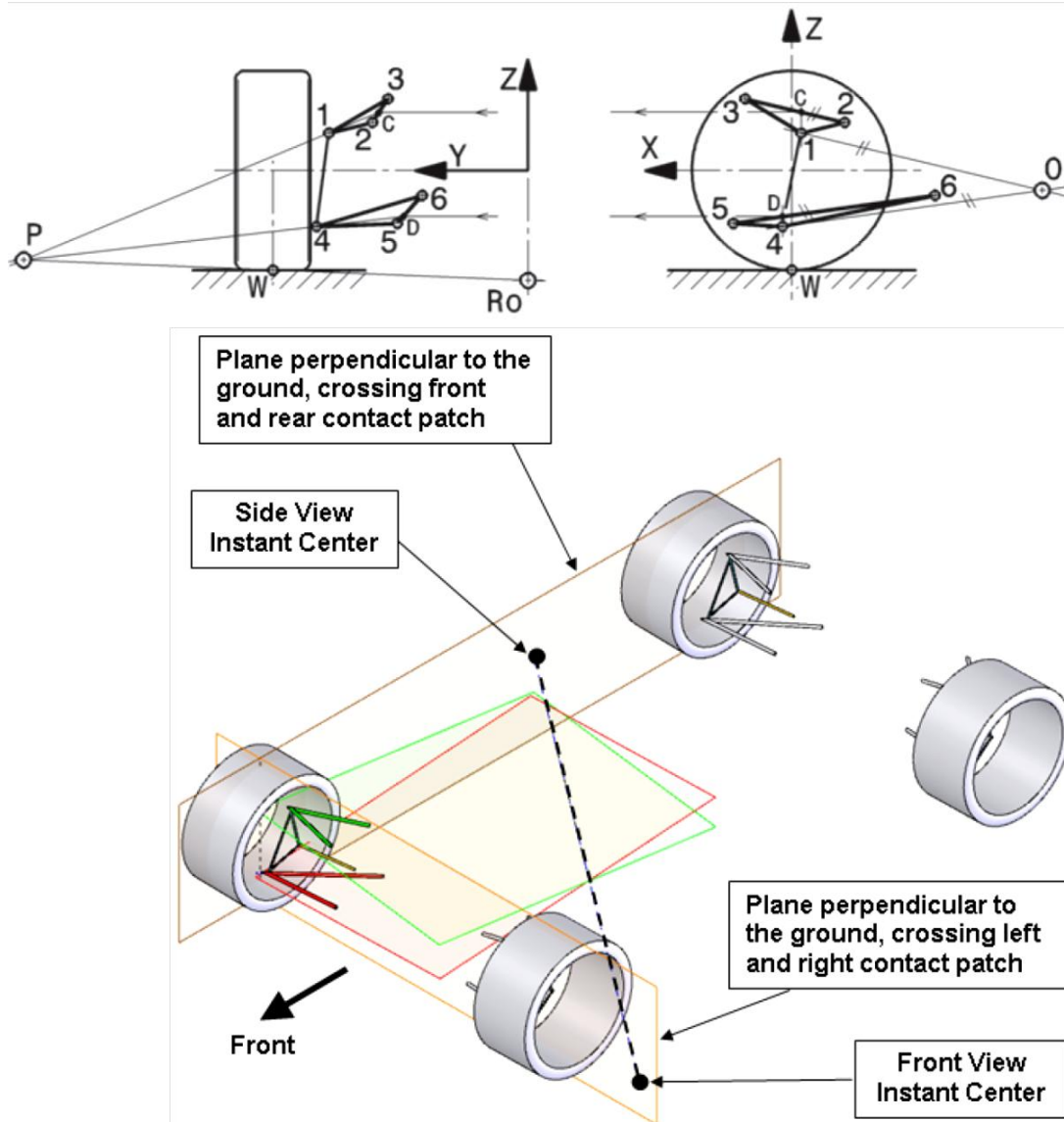
A fenti ábrán látható, hogy a Roll Axis nevű tengely több más kinematikai pont szerkesztéséből adódik ki. Ezek a következők:

- Elülső és hátsó Roll Center (10. ábra): az a teoretikus pillanatnyi helyzethez rendelhető pont, mely körül a jármű elülső és hátsó futóműve elfordul oldalirányú erő hatására (pl. kanyarodás). Szerkesztéssel úgy határozható meg, hogy az első, vagy a hátsó két kerékhez tartozó előlnézeti síkon levő pillanatnyi forgáspontot összekötjük a kerék talppontjával. Így két Roll Center adódik, egyik az első keréktalppontokon átmenő előlnézeti síkon, másik a hátsó két kerék talppontján keresztülmenő előlnézeti síkon.



10. ábra: Elülső- és hátsó Roll Center szerkesztése

- Instant Center (11. ábra): egy kerékhez rendelhető térbeli forgáspont, mely a kereken keresztülmenő elől- és oldalnézeti síkokon szerkeszthető ki, kerekenként tehát 2 ilyen pont létezik.



11. ábra: Bal első kerék pillanatnyi forgástengelye és két Instant Center-je

2.4 „Prototípusok sorozatgyártása”

A járműdinamikai megközelítésű modellfelépítés úgy gondolom az egyik legjobb módszer arra, hogy versenyautó tervezéshez méltó gondolkodásmódra készítse a felhasználókat, tehát elmondható, hogy ez is nagymértékben segítheti az olyan kezdő csapatokat is, akinél az egész versenyzés szemléletmódja, még nem körvonalazódott ki. A további célok elérése érdekében olyan felépítésű modellrendszerre van szükség, melyből a Formula Student versenyautók sokasága felépíthető, különösebb módosítások nélkül, segítve ezzel a különböző változatok tanulmányozásának gyorsaságát is.

3 Modellfelépítés eszközei

Az 1.5-ös fejezetben megfogalmazott célok elérésére a Top-Down tervezésmódszer a legtökéletesebb, amely fokozatosan építi fel a versenyautó meghatározó elemeit és referenciáit. Megfelelő felépítés segítségével felépíthető olyan parametrikus modell, amely akár nagyobb változtatásokra is stabilan reagál, ill. változtatás után újjáépít mindent, ami az adott paraméterre épül. Ennek leegyszerűsített ötlete, hogy megoldható-e olyan felépítés megalkotása, melyben néhány paraméter átírásával a modellrendszer „újratervezi magát” egy teljesen új autóvá. Munkámban további részében azzal foglalkozom, hogy ennek milyen határai vannak és melyek azok a szintek és módszerek, melyek pontos definiálásával valamilyen szinten megvalósítható az ötletem.

3.1 Top-down megoldások

A Top-Down tervezés elméletileg arra épül, hogy egy komplex rendszert egymásra épülő szintek alapján építjük fel és nem elemek sokaságából áll össze. Ezen a vonalon elindulva számos problémába ütköztem, ugyanis a szintekben definiált információ két féle lehet:

- Szint-referencia: esetében olyan információról beszélünk, mely a következő szint több részegységében is jelen van, pl. a lengőkar referenciái egyszerre szükségesek a váztervezéshez, a futómű tervezéshez és a fékrendszer tervezéséhez (fékcső), azonban fő rendeltetése a lengőkar részegység alkatrészhatárainak definiálása.
- Részegység-referencia: egészen addig a szintig beszélhetünk szint-referenciákról, míg az adott szinten található információ csak egy részegység alkatrészeinek meghatározására nem szolgál. Ilyen pl. a lengőkar esetében egy olyan referenciahalmaz, mely a lengőkar részegység alkatrészhatárait definiálja.

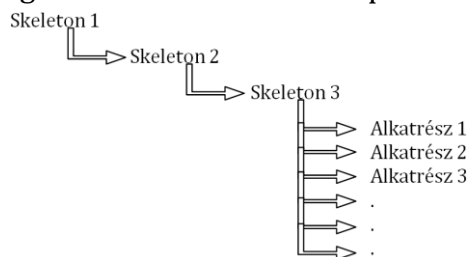
Ennek a problémának az egyik fő forrása a csoportmunka megosztás és a részegységek elkülönítése. Egy ekkora modell esetében már elengedhetetlen a

csoportmunka, melynek következménye, hogy csoportosítani kell azokat az információkat, melyek csak az adott részegység tervezéséhez szükségesek.

A kisebb komplexitású modellek esetében, ahol egy felhasználó dolgozik az adott egységen már bőven elegendő lehet, ha csak részegység-referenciákat használunk, mivel a tervező látja át legjobban az összeállítást, ill. a felépítést. Ezt tapasztaltam egyik házi feladatom elkészítésében, mikor egy hajtómű tervezéséhez elegendő volt egy alkatrészben definiálni az összes alkatrészhatárt, a kisebb módosítások nem jelentettek nagyobb problémát.

A fenti referenciatípusoknak köszönhetően alapvetően háromfajta felépítésű szintrendszer körvonalazódott ki, mely később nagyban meghatározta a referenciák hierarchiáját:

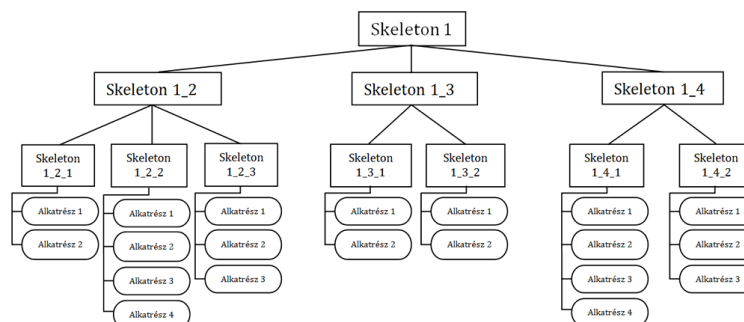
1. Lépcsős hivatkozással szintrendszer (12. ábra): ez az egyik legegyszerűbb felépítési módszer, melyet még a legelső autó felépítésénél is használtunk, lényegében a részegység-referenciákból álló egymásra épülő szintek. A felépítés lényege, hogy minden egyes szint összes referenciája felhasználásra kerül a tervezésnél, így lényegében csak referencia csoportok elkülönítésére jó.



12. ábra: Lépcsős felépítés

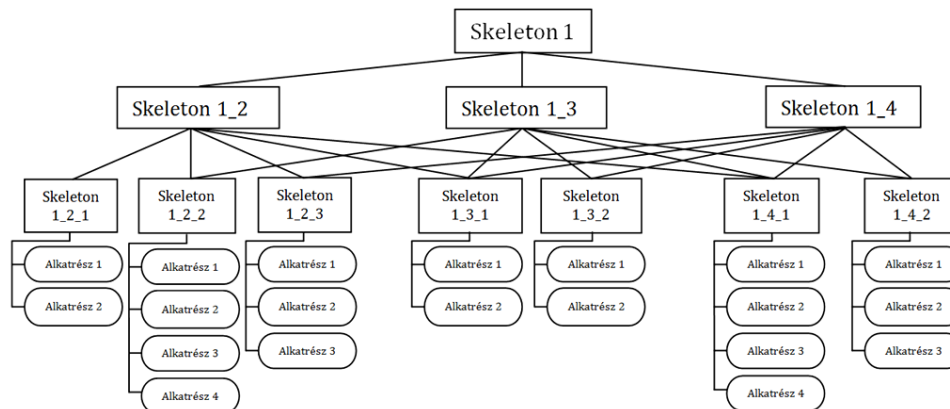
A megoldás legnagyobb előnye, hogy viszonylag gyorsan kezelhető, azonban a csoportmunkát nem támogatja.

2. Önálló csoportos hivatkozással szintrendszer (13. ábra): a vizsgált szinten levő referencia csoportok egyetlen helyről kapják az összes referenciájukat. Erre egyszerű szemléltetési mód az alábbi ábrán látható. Ennek tipikus példája, ha egy összeállításban egyetlen skeleton alkatrész található, alatta pedig részösszeállítások, melyekben szintén egy-egy skeleton alkatrész van definiálva. A részegységek közötti kapcsolat minden egyes eleme definiálva van a legfelső skeleton alkatrészben, a részösszeállítás csoportok elkülönülnek egymástól és nem is függenek egymástól.



13. ábra: Csoportos felépítés

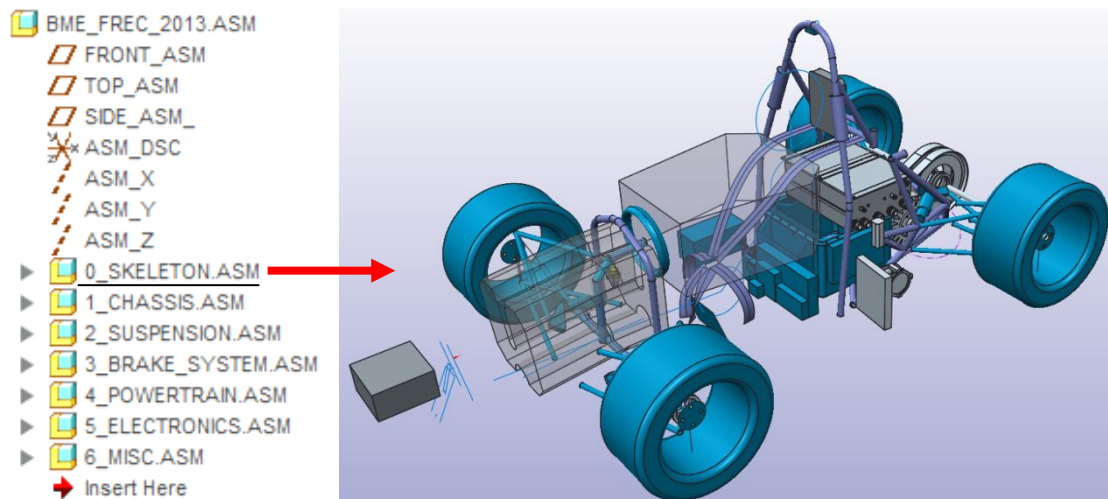
3. Kereszthivatkozos csoportos szintrendszer (14. ábra): A fenti két eset a két legegyszerűbb eset, azonban nem oldják meg teljesen azt a problémát, hogy a nagy komplexitású összeállításnál ritkán adódnak jól elkülönülő részegységek és részegység határok, ezért a hierarchia elején szükség van olyan szintekre, melynél a szint elemei több csoportból származó referenciákat is tartalmaznak. Ez a probléma onnan származik, hogy a váz, mint alkatrész lényegében a hozzá kapcsolódó összes referenciát előre kell, hogy tartalmazza, ugyanakkor gyakorlatilag minden esetben a váz az egyik legelső alkatrész, melyet meg kell tervezni. Ez különösképpen a csőváz szerkezetre érvényes, ahol a csatlakozási pontok legnagyobb többsége a váz topológiájától függ, függetlenül attól, hogy az adott csatlakozási pont mekkora igénybevételű.



14. ábra: Kereszthivatkozos csoportos szintrendszer

Abban az időben, mikor az első nagyobb modelleket készítettük nagyon kevesen dolgoztunk a modellel, ezért nem okozott gondot, hogy visszalépünk egy szintet, kijavítsuk, és folytassuk tovább. A későbbiek során azonban előtérbe került, hogy a nagyobb részegységek – mint pl. a futómű és a váz – végleges változata nélkül semmi nem tud haladni. Ebből alakult ki az az igény, hogy a fő részegységeket valahogy úgy kellene tudni szétválasztani, hogy azok tudjanak haladni egymástól függetlenül is, bizonyos szinten. Ebből alakult ki az a megoldás, hogy erre egyetlen úton lehetne csak eljutni: előre kell definiálni az egész autó összes lényegesebb referenciáját és azok hierarchiáját, egészen addig a szintig, míg gyakorlatilag el nem jutunk az alkatrészhatárokig.

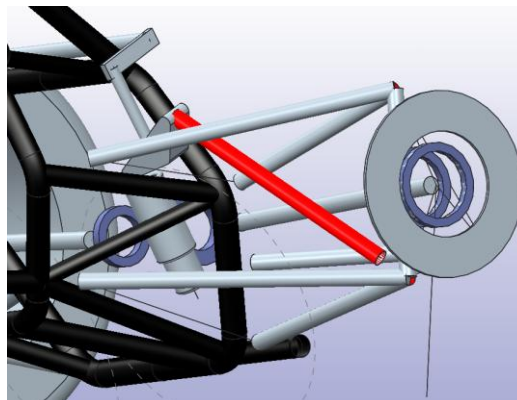
Ez a fajta szemléletmód több szempontból is előnyös lehet; kiemelném azt, hogy a jól felépített referenciamodell a tervezés alatt jóformán csak módosításokon esik át, tartalma nem nő és nem is csökken. Az iteráció versenyautó szintű nehézségeit nagyban megkönnyíti, ha minden esetben átlátható az egész autó és az egész koncepció. Az átlátás és referenciák kezelésének megkönnyítése érdekében ezért úgy döntöttem, a modellrendszerben egy bizonyos szintig teljesen különüljenek el a referenciacsoportok (skeleton összeállítások) a részegységektől (részegység összeállításoktól), 15. ábra.



15. ábra: Skeleton részegységszint

Ez arra készíti a felhasználókat és az adott csapatot, hogy elejétől a végéig gondolják át, hogy akarják összeállítani az egész autót és ne egyből csak az egyes részmegoldások közti különbségekkel foglalkozzanak. Erre kiváló motiváló módszer, ha először egyszerűsített koncepciókat dolgoznak ki csoportosan, majd az összeállításban azonnal látható lesz, hol adódnak ki egyszerűsítések, vagy épp komplikációk.

Az előbb említett problémára tökéletes példa a himbaszerkezet és a rugóstag bekötés elhelyezése a vázon (16. ábra). Amíg a himbát tervező diák elemzi, milyen határai lehetnek a himbaszerkezetnek, ill. milyen befoglaló méretei lehetnek, addig a vázat tervező diák összeállít egy kiindulási topológiát. Az összeállítás frissítése után egyből látszódni fog, a himba a váznak melyik részén tud egy cső, vagy egy csomópont közelében elhelyezkedni.



16. ábra: Himbaszerkezet és a rugóbekötés illesztése a váztopológiához

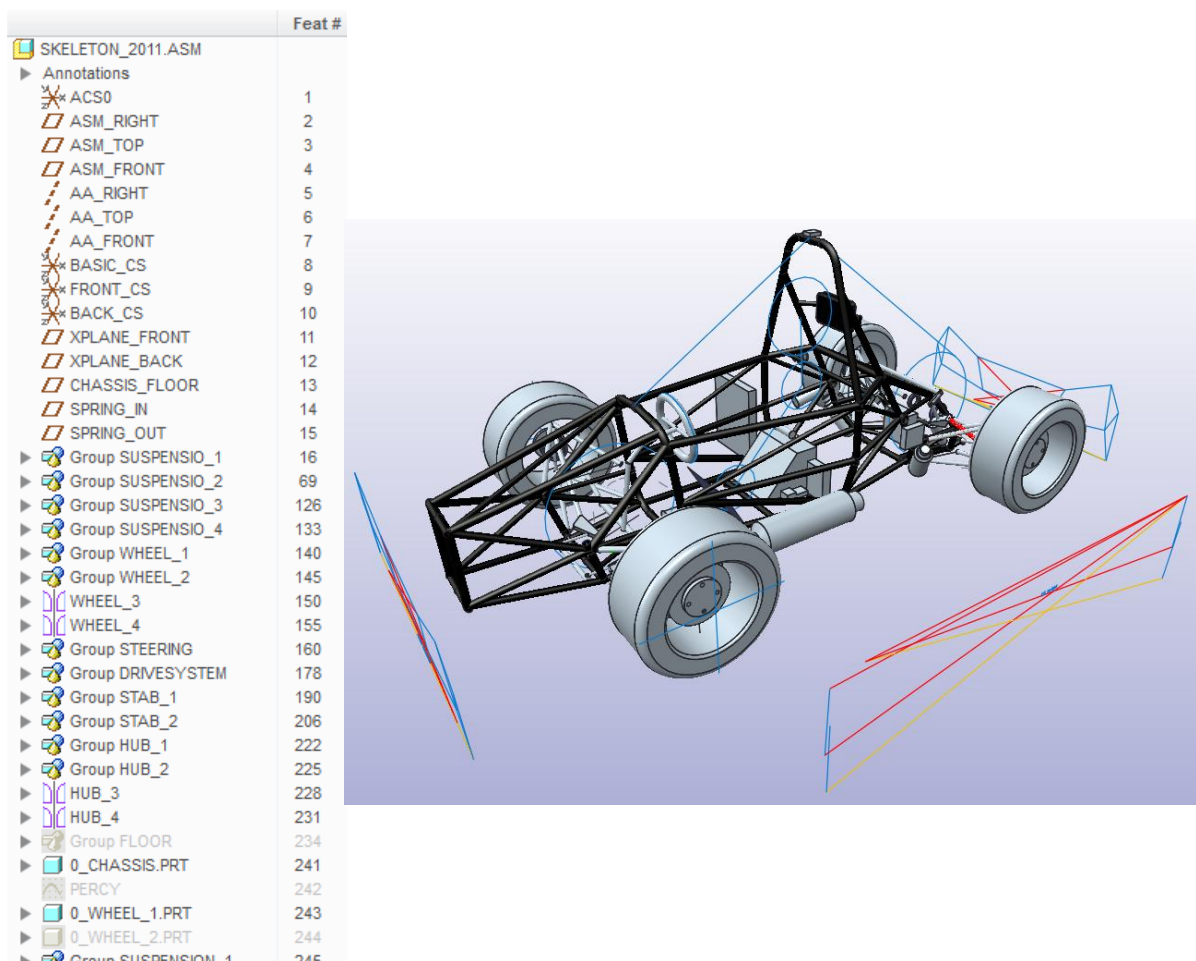
3.2 Referenciakezelés

A Top-Down tervezés megvalósításához olyan eszközökre van szükség, melyek lényegében a referenciák létrehozására, csoportosítására és megosztására adnak lehetőséget. A Creo-ban erre több eszköz is lehetőséget nyújt, melyek közt egyfajta analógia is felfedezhető. Ezek az elemek a következők:

- Geometry feature: a legkisebb elemi információt tartalmazó egység

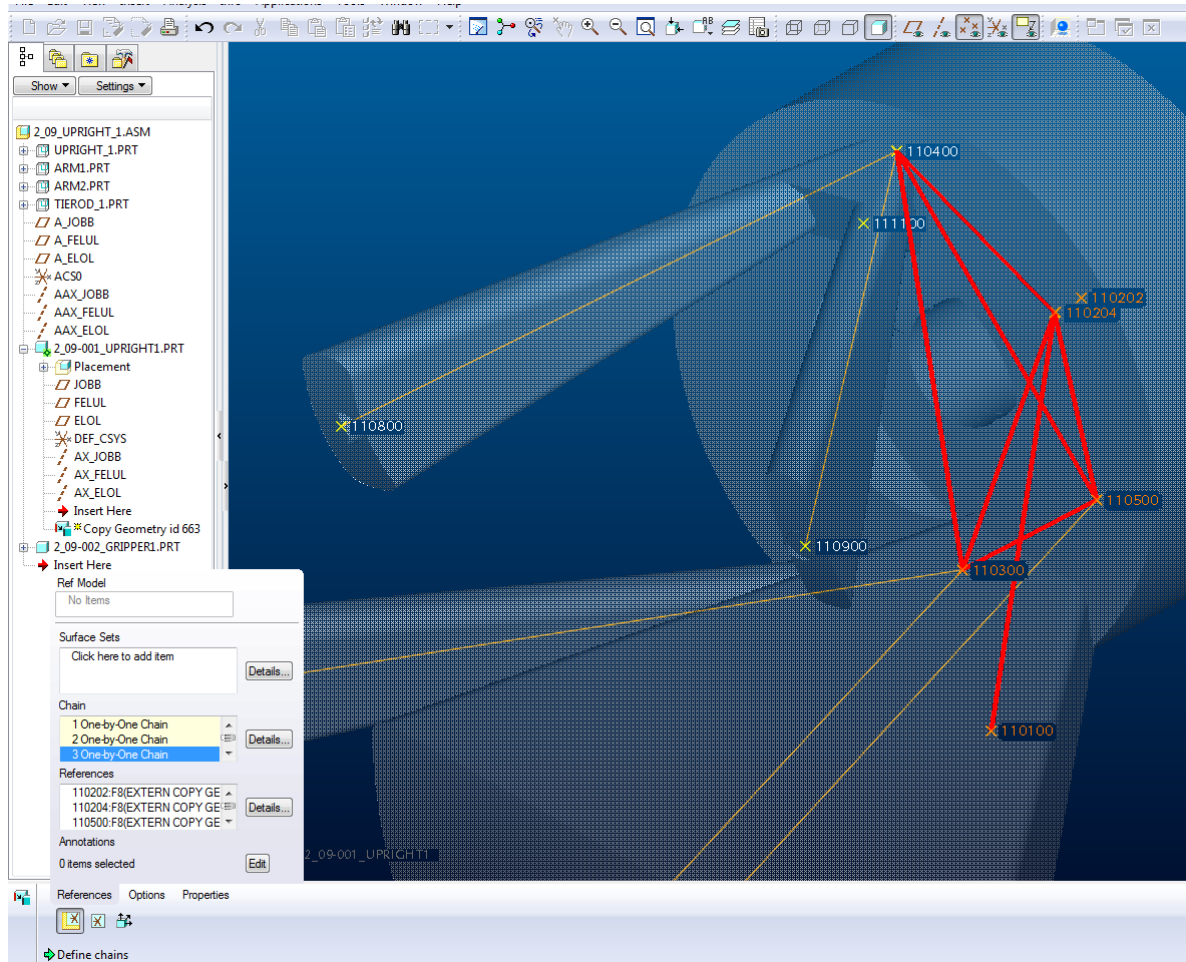
- Koordinátarendszerek
- Síkok
- Pontok
- Tengelyek
- Koordináta pontok
- Egyenes vonalak
- Group: elemi információk csoportba foglalása
- Publish geometry: referenciákat csoportosító nagy információ tartalmú feature
- Copy geometry: nagy információ tartalmú referenciákat hordozó feature
- Merge: a fentiek akár mindegyikét tartalmazó feature
- Part: a fentiek közül mindent tartalmazhat
- Assembly: a merge kivételével mindent tartalmazhat a fentiek közül

Kezdetben, míg nem alakultak ki pontosabban a részegységeink egyből egy Assembly segítségével hoztuk létre az autó referenciájának döntő többségét. Ebben a rendszerben három autó épült meg, azonban nagy hátránya volt ennek a referenciakezelésnek, hogy rendkívül nagy feature-számú volt az összeállítás (264 feature és az összeállításban található összes alkatrész ezekből a feature-ökből vette egy helyről a referenciákat, 17. ábra), kevesen láttuk át, és egyszerre csak egy felhasználó kezelhette.



17. ábra: Skeleton feature-ök az összeállításban

Az eddigi autóink alkatrészeinek nagy többsége az elsődleges referenciáit Copy Geometry eszköz segítségével készült el, melynek számos hibája és nehézsége volt, mivel a referenciák eltűnése véletlen kitörlés esetén nem azon a szinten jelennek meg, ahol a kitörlés végrehajtódik, hanem az alatta levő szinten, ahova meg van hívva az adott referencia (18. ábra). Ennek visszakeresése rengeteg problémát okozott, ill. a referencia újból való létrehozása sem oldotta meg a problémát, mivel nem csak a referencia helyzetét, nevét és típusát kereste, hanem a hozzárendelt azonosítót is.



18. ábra: Copy Geometry alkalmazása a tengelycsonk referenciáihoz

Használata azonban különösen előnyös volt a részegységek utolsó szintjeinél, ahol a különböző változatok gyors kialakításához egyértelmű volt, mely referenciák szükségesek és csak az alkatrész tervezője kezelte.

Az összeállításban való építkezés helyettesítése érdekében ezért elkezdtem alkalmazni a Publish Geometry eszközt, mely az információ tartalom analógia alapján nem módosítja lényegesen a felépítést, csak kisebb egységbe foglalja.

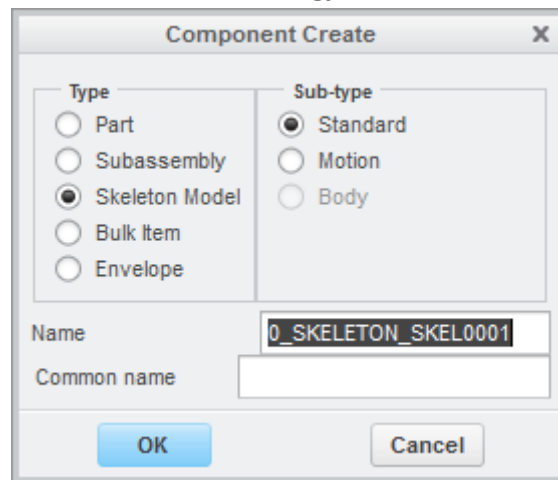
Assembly -> Feature -> Part helyett Part -> Feature -> Publish Geometry

A Publish Geometry egyetlen nagy hátránya a másik módszerrel szemben, hogy csak azon a szinten lehet módosítani, ahol létrehozták, tehát a változtatás fentről lefelé történik és nem lentől felfelé, mint a Copy Geometry esetében. Ez azért minősülhet hátránynak, mivel ha a felhasználónak nincs jogosultsága a Publish Geometry

kezelésére, vagy változtatására, akkor várnia kell addig, míg a felelőse módosítja. Ez megnehezíti az iterációt és a haladást, ami az idő rovására megy. Egy előre létrehozott teljes skeleton esetében ez előnyös, ha nem változik a skeleton tartalma utólagosan.

3.3 Skeleton modul

A Creo Parametric egyik sajátossága, hogy létezik egy külön Top-Down design-t támogató modulja is, amely megkülönböztethető skeleton alkatrészeket és összeállításokat hozhat létre (19. ábra). Előnyös tulajdonságai, hogy nem rendelkeznek tömeggel, a modellfa legtetejére építhetők be automatikusan, ill. beállítható, hogy csak skeleton alkatrészekből vehető ki referencia egy adott összeállítási szinten.

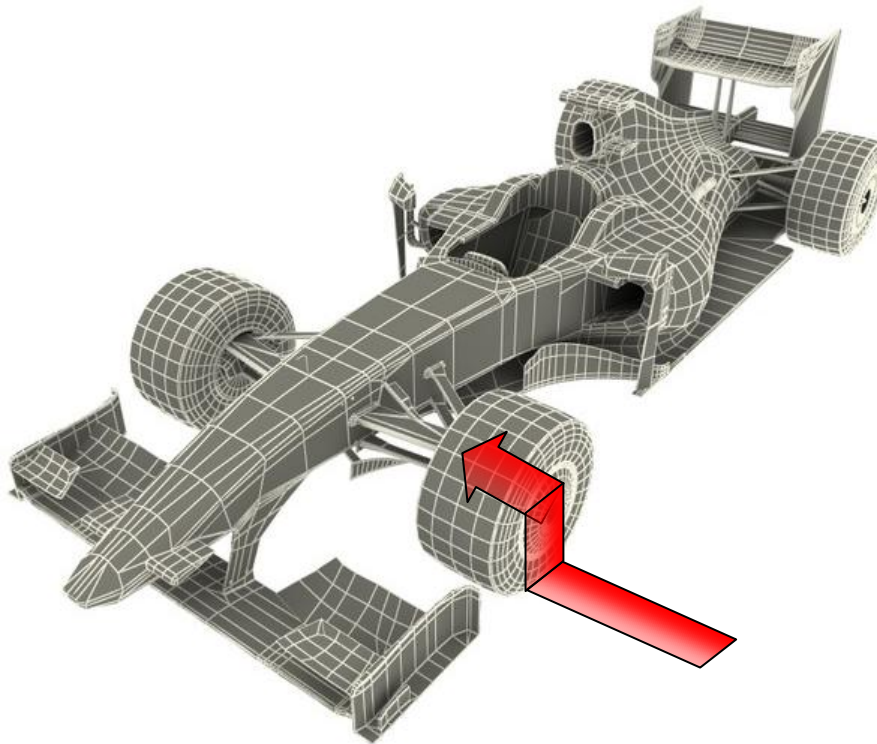


19. ábra: Skeleton modul

- Standard: tulajdonságait nézve megegyezik az egyszerű alkatrész skeleton megfelelőjének
- Motion Skeleton: az összeállítás alkatrész megfelelője, kizárólag skeleton alkatrészeket tartalmazhat
- Body: speciális skeleton alkatrész, melyet motion skeleton-on belül létrehozva megadhatóak az alappreferenciák az alap koordináta-rendszerben, ill. ez után a bele másolt referenciaelemek segítségével egyből be is kényszeríthető.

4 Modell felépítési irányok

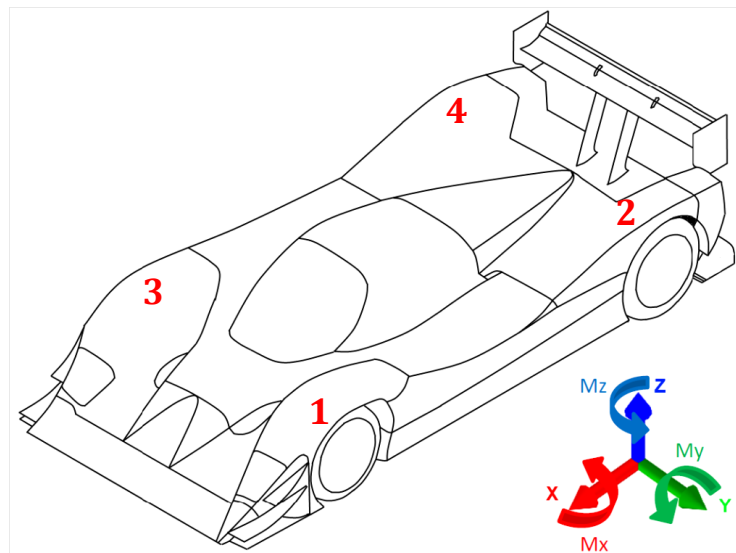
A nagyméretű és komplex összeállításoknál elengedhetetlen az ún. tervezési irányok felvétele, melyek egységesítik a felépítési módszert és gondolkodásmódot. Az előző fejezetekben (2.4) kifejtettem, hogy csapatunk járműdinamikai megközelítés alapján tervezi az autót, tehát ebből következően „az autó a talajon kezdődik”. A gondolkodásmód alapján tehát a legelső pontokat a talajjal való érintkezés, azaz a négy kerék talppontja adja, majd a kerekek mérete, a kerékagy, a tengelycsonk állvány, a futómű... következik (20. ábra).



20. ábra: Modell felépítési irány: talajtól a váz felé

Másik irányelv a kerek jelölései, ugyanis rengeteg helyen szerepelne a bal első, jobbhátsó, jobb első... kifejezés, ezért kitaláltunk egy indexelést, mely az adott negyed járműhöz tartozó elemeket egy 1–4-ig jelöli. A kerekhez rendelt számok a következő ábrán láthatóak

Fontos megemlíteni, hogy a járműveknél az egységes alap koordináta-rendszer a talajon helyezkedik el, az első két kerék nyomtávjának a felénél, a következő tengelykiosztással (21. ábra, 22. ábra):

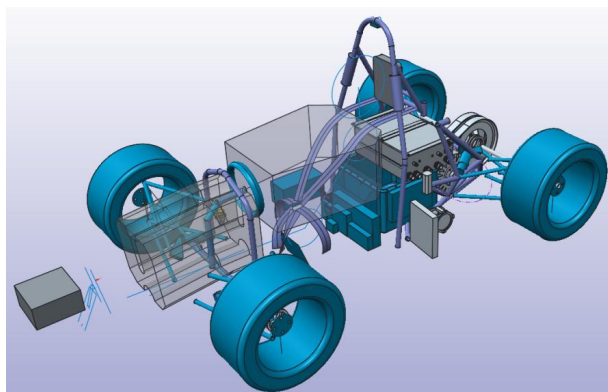


21. ábra: Alap koordináta-rendszer és a negyedjármű számozása

Axis	Direction	Name	Color
Longitudinal	Points to Front or Rear of Car	X	Red
Lateral	Points to Left or Right of Car	Y	Green
Vertical	Points Vertically up or down	Z	Blue
Roll	Counter Clockwise Positive	Mx	Red
Pitch	Counter Clockwise Positive	My	Green
Yaw	Counter Clockwise Positive	Mz	Blue

22. ábra: A tengelyek jelentése

A felépítésnél irányadóak voltak az előző évi tapasztataim és referenciakezelési lehetőségek, ezért a skeleton létrehozásának részletességénél az volt a cél, hogy olyan mélységű skeleton-ra van szükségünk, mellyel az autó egészét egybe tudjuk látni és minden nagyobb és fontosabb egységet el tudjunk helyezni az autó csontvázán. A skeleton modell összeállításának és véglegesítésének szakasza el is nevezhető „skeleton freez”-nek, ami lényegében annyit jelent, hogy az autó koncepciója összeállt (23. ábra), az alap kinematikai vizsgálatok megtörténtek, és kezdődhet a részlettervezés.



23. ábra: Az autó skeleton szintű koncepciója

4.1 Statikus modell

A felépítés kezdeti szakaszán el kellett döntenem, hogy a rendelkezésre álló skeleton modulnak mely elemeit szeretnénk használni. Elsőként a Motion Skeleton-ban való építkezés lehetősége, ezt azonban elvetettem a következő okok miatt:

- A skeleton szinten levő elemek olyan szintű komplexitással rendelkeznek, hogy sok hibalehetőséget rejteget az elmozdítható referenciapontok kezelése.
- A mozgathatóság lehetősége az egyes mozgástartományok és futómű tulajdonságok vizsgálatára adhatna lehetőséget, azonban mindkét esetben többfajta megközelítésű vizsgálat létezik, melyek nagyon eltérőek (4.2 fejezet). Továbbá megnehezíti az iteráció folyamatát is, hiszen könnyen létrehozható olyan geometria, ami kis mozgástartományon belül sem stabil már, ilyen pl. a holtpont közeli csuklós szerkezetek átfordulása a rendellenes irányba.
- A több különböző céllal létrehozott összeállítás modellek javítják a tagoltságot, az információk minimalizálását és pl. a file-méreteket is
- A probléma specifikus vizsgálatok gyorsabban lefutnak a megfelelő mozgásvizsgálatoknál, pl. himbaáttétel meghatározására elég egy negyed járműmodell

4.2 Dinamikus és analízis modellek

A dinamikus vizsgálatoknak igen komoly határt szab a program rendeltetése, ugyanis a 2.2-es fejezetben említett járműdinamikai szimulációk nem futtathatók le egy CAD programban. Fontos tehát annak a határnak a definiálása, hogy mi az amit még megéri vizsgálni egy CAD programban, mi az, ami még segíti a geometriai iterációt a szimulációs eredményekkel összhangban.

Ezeket a határokat a pillanatnyi forgástengelyek statikus kiserkesztésében határoztam meg. A futóművek tervezésénél ezeknek a pontoknak a felvétele kulcsfontosságú a járműdinamika szempontjából, fontos tehát, hogy a változtatások eredménye követhető legyen még CAD szoftverben, így a szimulációs programban már csak a kinematikai és dinamikus vizsgálatokat kell ellenőrizni és összehasonlítani, mind ez közben a kezdetleges futómű paraméterekkel elkezdődhet pl. a vázbekötések elemzése.

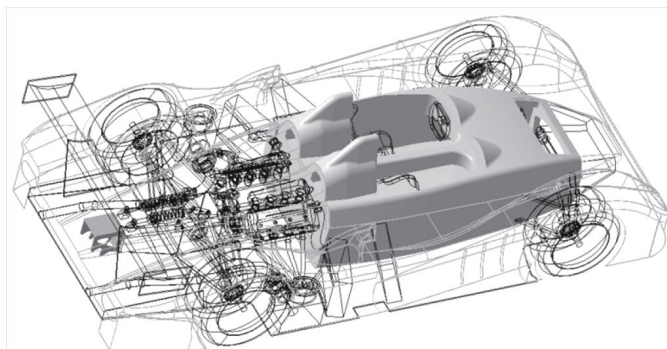
Pontokba foglalva tehát a következő analízisekre van szükség a szimulációs iterációk megkönnyítése érdekében:

- Mozgástartományok ellenőrzése, ütközésvizsgálat
- Alap futómű analízisek:
 - Himbaáttétel változása a berugózás függvényében
 - Kerékdőlés változása a berugózás függvényében
 - Kerék szét- és összetartás változása a berugózás függvényében
 - Csaphátradőlés változása a berugózás függvényében
 - Instant- és Roll center-ek helyzete különböző berugózásnál
 - Kerékszög az elkormányzás változása függvényében
 - Első két kerék egymáshoz képesti szöge az elkormányzás függvényében
 - Vázdőlés az elkormányzás függvényében
- Keréktalpponti erők a berugózás függvényében
- Lengőkarokban ébredő erő, a berugózás függvényében és kisebb ütés esetén
- Himbatengelyen ébredő erők a berugózás függvényében és felütközéskor
- Nyomaték változása a kormánytengelyen adott oldalerő hatására

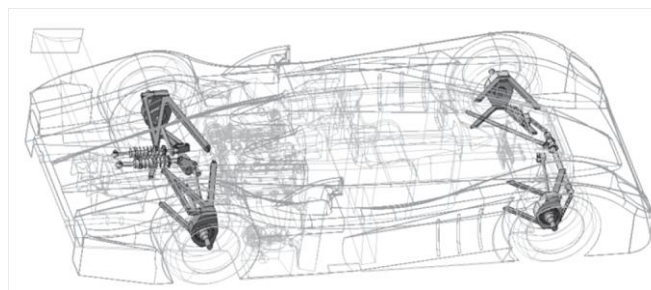
4.3 Részegységek

A versenyautók fő részegységei a következők:

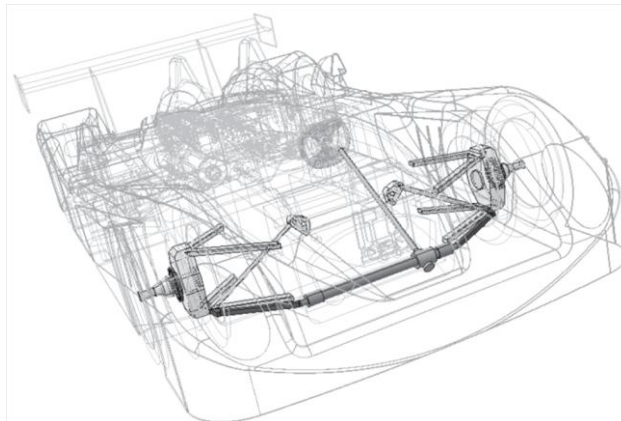
1. Váz



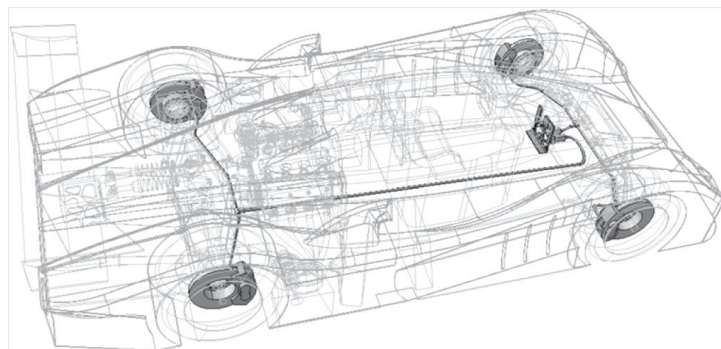
2. Futómű



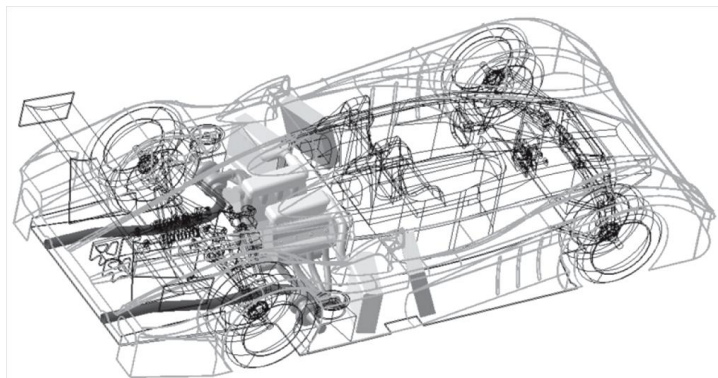
3. Kormányrendszer



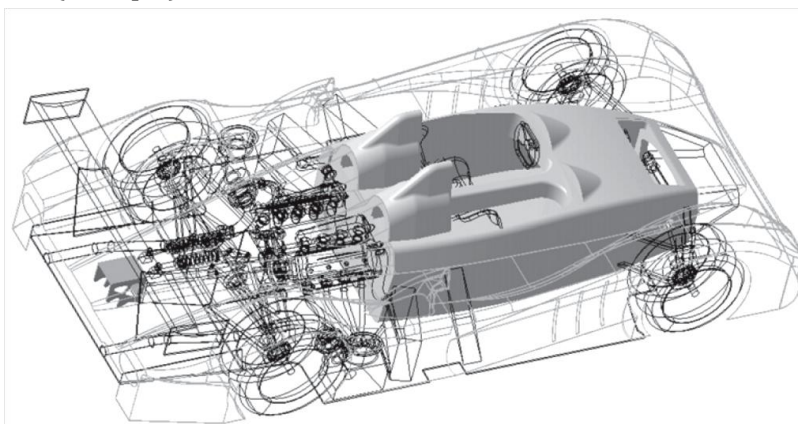
4. Fékrendszer



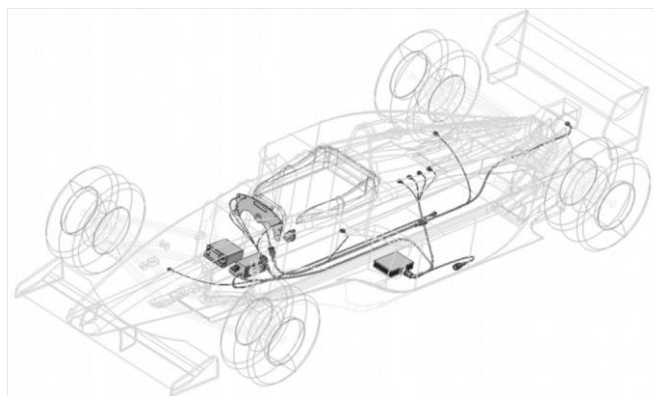
5. Hajtásrendszer



6. Pilótafülke (Cockpit)

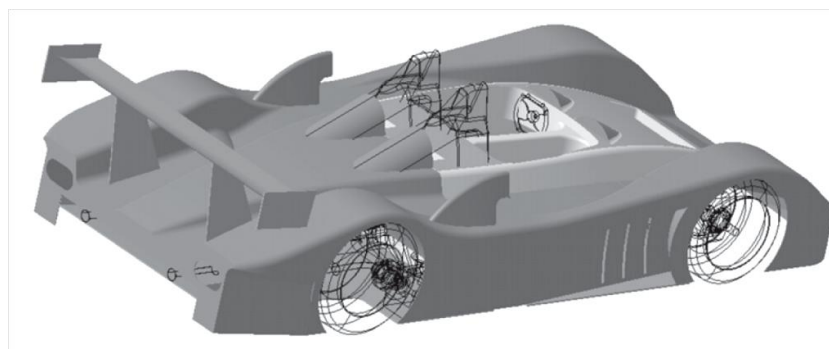


7. Elektronika



8. Burkolat

9. Aero



A Csatatunk ettől kevesebb jól elkülönülő részegység felosztást használ, mivel pl. a futómű be nagyon sok elem besorolható, ezért mi a következő felosztást használjuk:

1. Váz: vázszerkezet, bekötési fülek, cockpit, ütköző zóna, burkolat
2. Futómű: lengőkarok, kormányrendszer, tengelycsonk állvány, himba, rugóstag, stabilizátor
3. Fékrendszer: féktárcsák, pedálsor, féknyergek, fojtószelep
4. Hajtásrendszer: motor(ok), hajtáslánc, hűtőrendszer, üzemanyagrendszer, kipufogórendszer, szívórendszer, szekunder hajtás
5. Elektronika: motorvezérlők, akkumulátorok, kisfeszültségű vezérlők, adattároló, szenzorok
6. Egyéb: aero, kábelezés

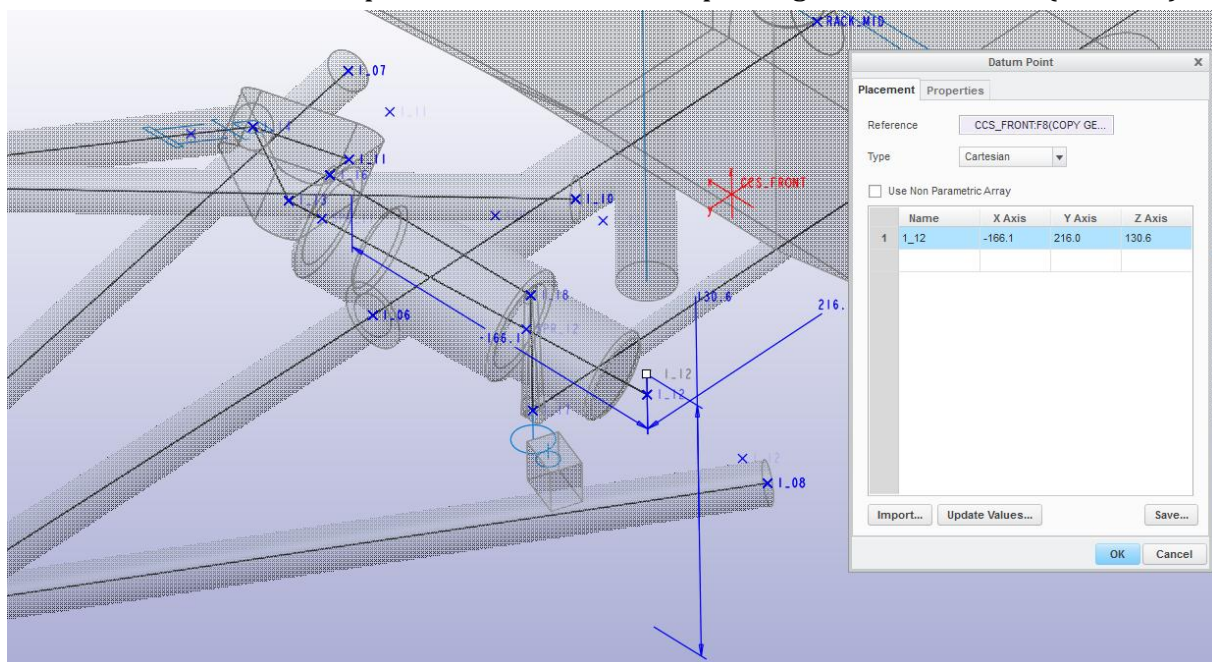
4.4 Skeleton felépítés

A skeleton alkatrészek felépítésének céljai:

- Adott szintre jellemző határok egyszerű definiálása
- Részegységekhez szükséges referenciák csoportba foglalása és definiálása
- Tervezési iteráció egyszerűvé és gyorsá tétele
- Tagoltság megvalósítása, kevesebb információ egy helyen
- A teljes autó koncepció átláthatóságának elősegítése
- Előre definiált elemek, meggyorsítják a koncepcióanalízis kezdeti szakaszát

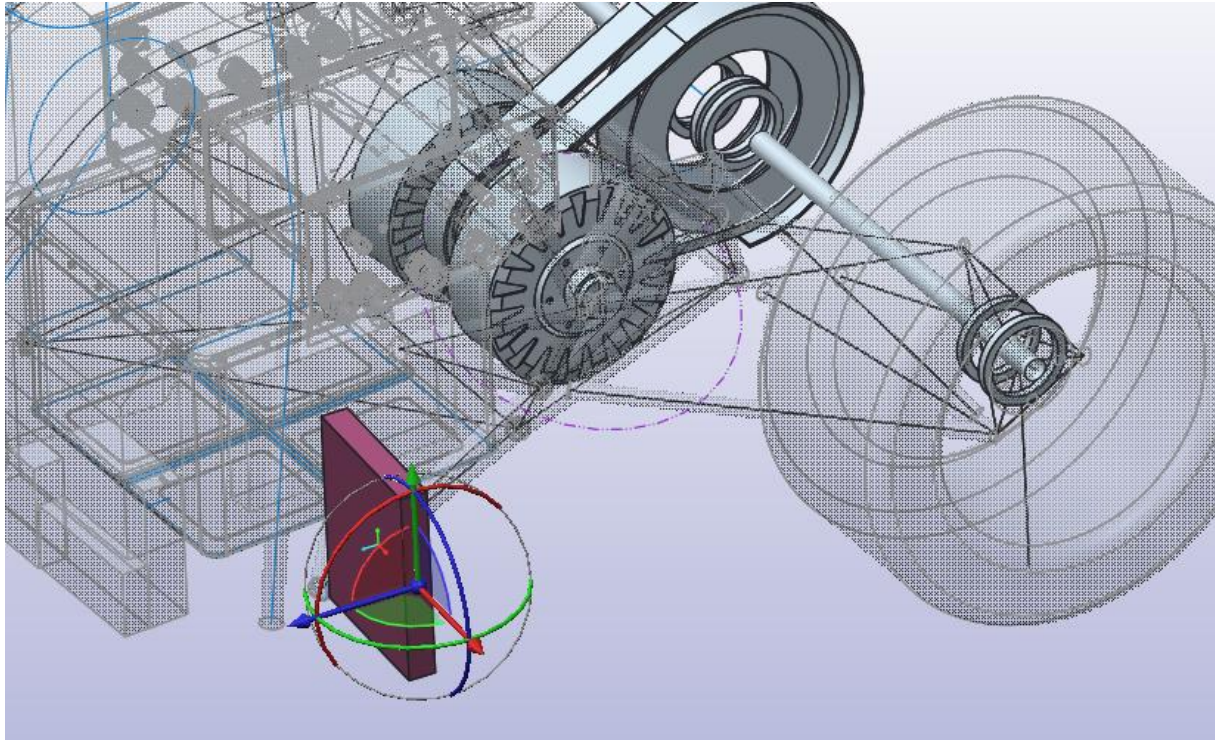
A skeleton alkatrészeknek kétfajta funkciója lehet az iteráció megkönnyítése szempontjából

1. Geometria iteráció: tipikus példája a futómű bekötési pontjai. A geometriai elemek az alap koordináta-rendszerben helyezkednek el és függenek a felettük levő szinttől, az iteráció paraméterek értékeinek próbálgatásával történik (24. ábra)



24. ábra: Geometria iteráció a futóműnél

2. Elhelyezés iteráció: ilyenek pl. az elektronikai dobozok elhelyezése. Az alkatrészek nem függenek a felettük levő szinttől, viszont elhelyezésük függ a velük azonos szinten levő alkatrészeketől. Az elhelyezés próbálgatásához kiválóan alkalmas a beépítéskor létrejövő Automatic kényszer, mellyel a tér minden irányába próbálhatjuk forgatni és helyezni az alkatrészt, könnyen és gyorsan kereshető, hol lesz megfelelő helye (25. ábra). A kényszer azonban egyetlen szabadságfokát sem köti le, tehát utólag, ha megtörtént a hely kiválasztása, definiálni kell a csatlakozási pontokat és pl. egy koordináta rendszerrel lekötöni térben, mely abban a skeleton alkatrészben van, melyhez kapcsolódik.



25. ábra: Elhelyezés iteráció

Egy adott szint felépítésénél külön fontos szerepet játszik a dinamikus paraméterváltoztatás, mely nagyon nagymértékben segíti az iterációt. Ez a funkció sajnos csak alkatrész szinten létezik, mivel valószínűleg az összeállítás szinten történő dinamikus paraméterváltoztatás rendkívül gépigényes. A futómű és a himbarendszer térbeli elhelyezése az egyik legnagyobb kihívás, ezért a szinteket úgy határoztam meg, hogy a dinamikus paraméterváltoztatás segítse az iterálást.

4.4.1 I. szint

Az első szinten találhatóak a legalapvetőbb információk, melyek a következők (27. ábra):

- Nyomtáv
- Tengelytáv
- Kerékátmérő
- Tömegközéppont felvett helye

- Keréktengelyek és alapsíkok
- Vázalja sík és vázalja koordinátarendszer

Az autó szinte teljes mértékben szimmetrikus, ezért a skeleon-ok meghatározásánál minden referenciának csak a bal oldalán levő elemeit vettem fel. Ez alól későbbi megfontolások alapján kivétel a legelső szint. Az alapinformációk egy része paraméterek formájában állítható (26. ábra):

CAR_ID	String	FRC-06
DESIGNER	String	-
FRONT_TRACK_WIDTH	Real Number	1220.000000
MASS	Real Number	0.000000
OBJECT	String	BME_FRT_OBJECT
REAR_TRACK_WIDTH	Real Number	1150.000000
WHEELBASE_	Real Number	1600.000000
WHEEL_RADIUS	Real Number	250.000000

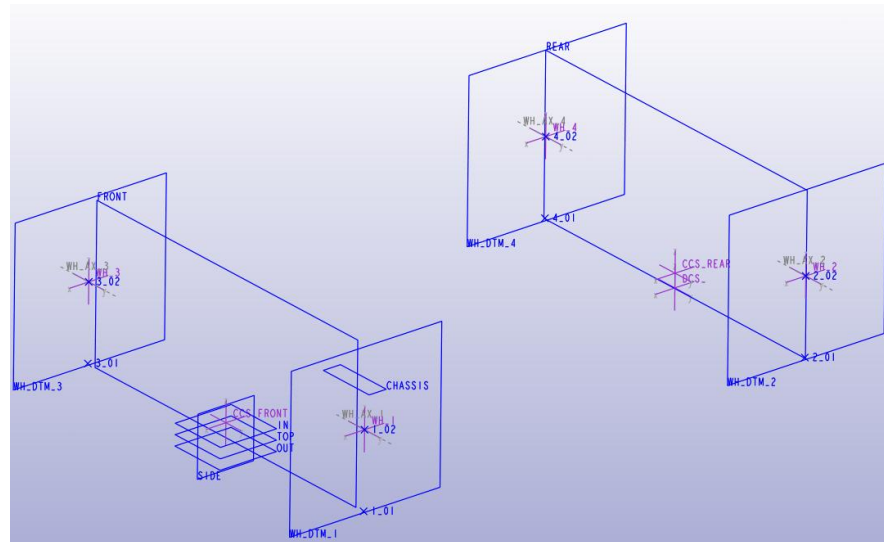
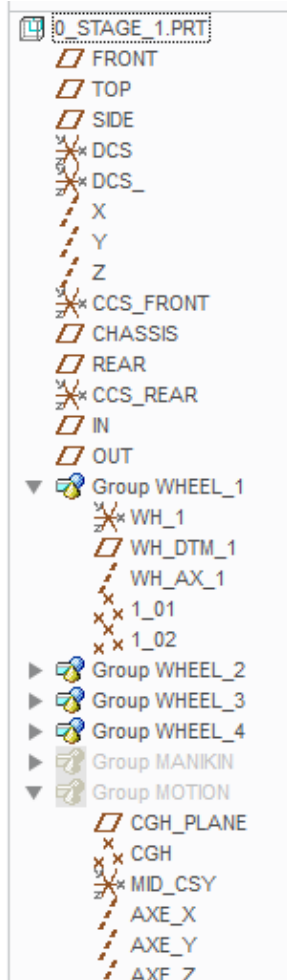
26. ábra: Alapparaméterek

Az alap koordinátarendszer orientációja megegyezik az általánosan használttal, azonban ezen kívül felvettem még hét másik koordinátarendszert:

- Hátsó traktus alap koordinátarendszere
- Váz aljának elülső alap koordinátarendszere
- Váz aljának hátulsó koordinátarendszere
- Kerékközépen elhelyezkedő koordinátarendszerek

A felépítés jellegéből adódik, hogy a váz és az arra rögzülő elemek teljes mértékben a váz paramétereivel együtt kell, hogy változzanak. A váz ily módon független kell, hogy legyen az alap koordinátarendszerben definiált referenciáktól, ill. csak a kettőjük közti viszonyt kell meghatározni. A váz koordinátarendszere lényegében a legalsó síkját képviseli, azaz a hasmagasságot. A hasmagasság felvétele legalább olyan alapinformáció, mint a nyomtáv, vagy a keréktáv, hiszen ennek is ideálisnak kell lennie: a lehető legalacsonyabban kell, hogy elhelyezkedjen. A vázhoz rendelt koordinátarendszerre való építkezés legnagyobb előnye, hogy a hasmagasság módosításakor, a vázzal együtt mozgó referenciák is módosulnak, melyekből a vázon van a legtöbb. A váznál két alap koordinátarendszer található, ahogy az egész autónál is, mivel a jobb- és baloldalon kívül az első és a hátsó traktus is jól elkülönülő egységet képez.

A kerékközépen felvett koordinátarendszerek értelme, hogy a nyomtáv és tengelytáv változtatás esetén a kerékre- és kerékben elhelyezkedő alkatrészek referenciái együtt mozduljanak el a kerékkel.



27. ábra: I. szint

Az alsó elemek referenciákat tartalmaznak a MANIKIN embermodell beépítéséhez, továbbá a mozgásanalízishez szükséges referenciatengelyeket.

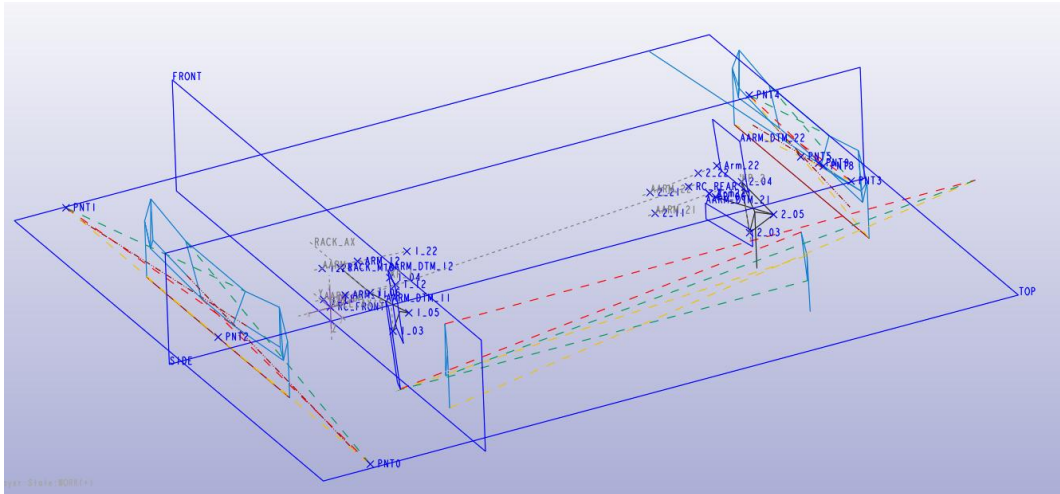
4.4.2 II. szint

A felépítés további részleteit külön szintre soroltam, mivel a fenti szinten levő alapadatok eldöntése az alapkoncepció része, általában a csapatok már a tervezés első lépésében eldöntik ezeket, melyek a tervezés során nem változnak. A második szinten, ahogy a kerekektől haladunk a váz felé a futómű alapelemei kerülnek meghatározásra (28. ábra):

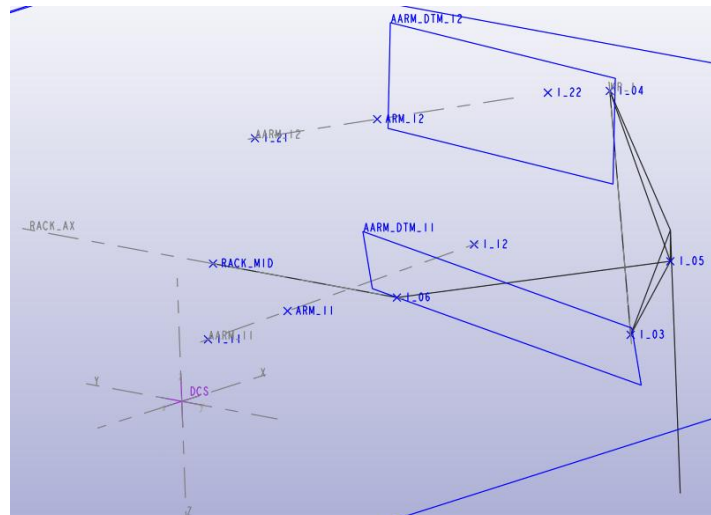
- Lengőkarok forgástengelyének koordinátpontjai
- Kormánygeometria
- Futómű jellegzetes pontjainak kiszerkesztése

A futómű karakterisztikát meghatározó elemeket az előző fejezetekben leírtak alapján a lengőkarok határozzák meg nagymértékben. A lengőkarok funkcióját leegyszerűsíthetjük egy forgástengelyre és egy ehhez rendelt pontra (29. ábra). A forgástengely térbeli elhelyezkedése és a lengőkar csúcsa fogja majd alkotni később a lengőkar alapját, azonban kiemelném, hogy a lengőkarok szárai nem befolyásolják a futómű karakterisztikát ezen a szinten. A forgástengelyt meghatározó koordinátpontok tehát csak a szimulációs paraméterek iterálásához szükségesek, mivel általában minden szimulációs programban a futómű paramétereit az alap koordinátarendszerben

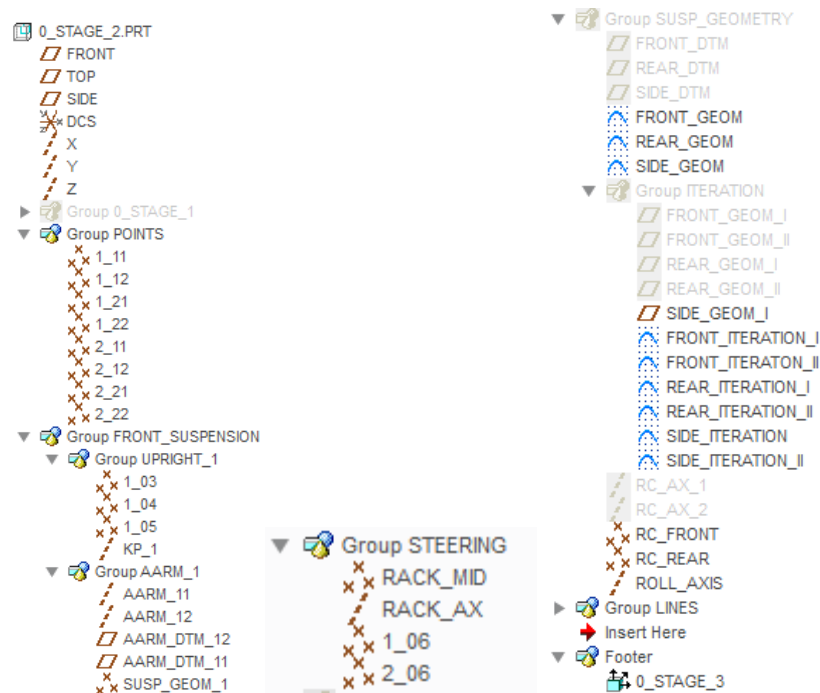
definiálják, mint koordináta pont. Esetünkben ezeket a pontokat a váz koordináta rendszerben határoztam meg, így a lengőkar bekötések a hasmagassággal együtt tudnak vándorolni.



28. ábra: II. szint



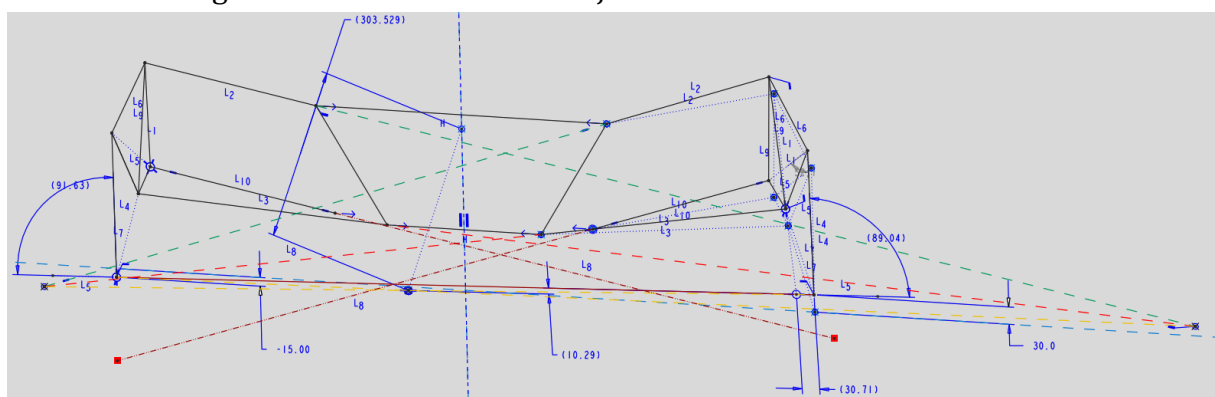
29. ábra: Felső- és alsó lengőkarok alapelemei



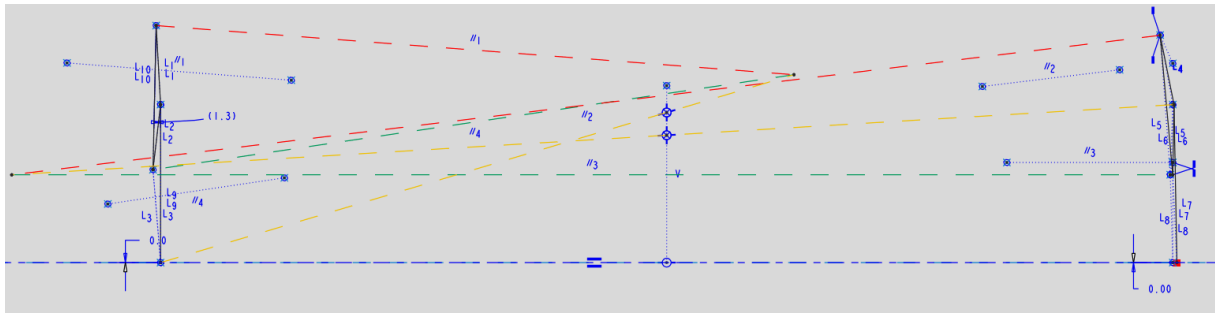
30. ábra: II. szint modellfája

A modellfában látható, hogy az első szint teljes egészében be lett építve ebbe a szintbe; ez megfelel tehát a lépcsős hivatkozási szintrendszernek, mivel minden egyes elemet felhasználtam a második szint létrehozásához.

A futómű jellegzetes pontjainak szerkesztése az alábbi ábrákon látható (31. ábra, 32. ábra). A megfelelő vetületekre rákényszerítettem a sketch elemeket olyan módon, hogy azok a síkban mozgathatóak legyenek, méretük pedig egyezzen meg a vetület alapméreteivel. A rajzon be lehet állítani a berugózás mértékét, így láthatóvá válik, hogy kb. milyen Roll Center vándorlás várható. A módszer csak közelíti a valóságot, hiszen a lengőkarok térbeli helyzete a vetületek hosszának változására is kihatással van, de kismértékű szögek és elmozdulások esetén jól közelít.

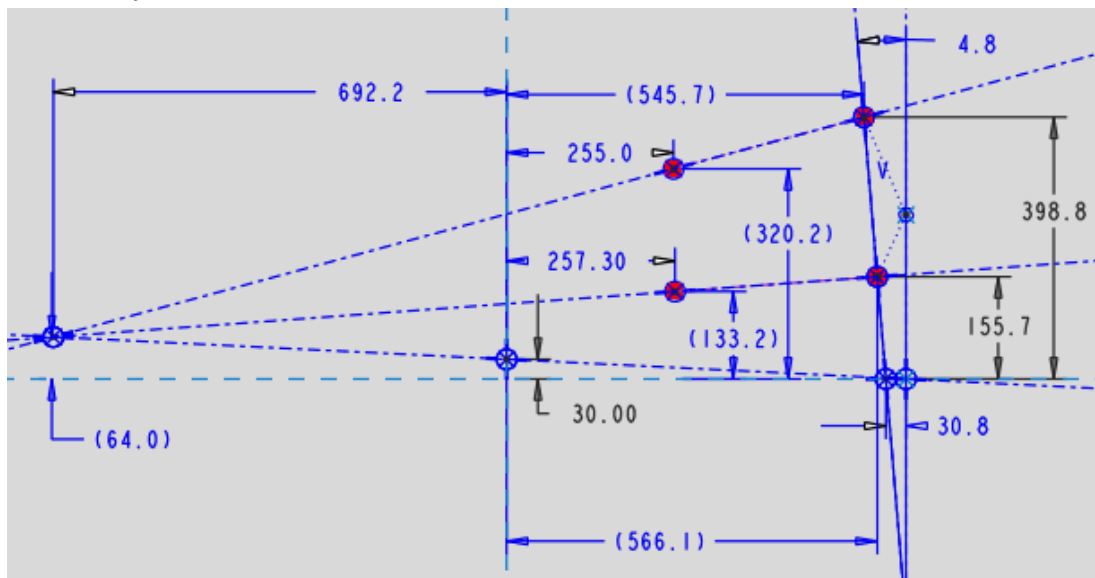


31. ábra: Elülső Roll Center szerkesztés

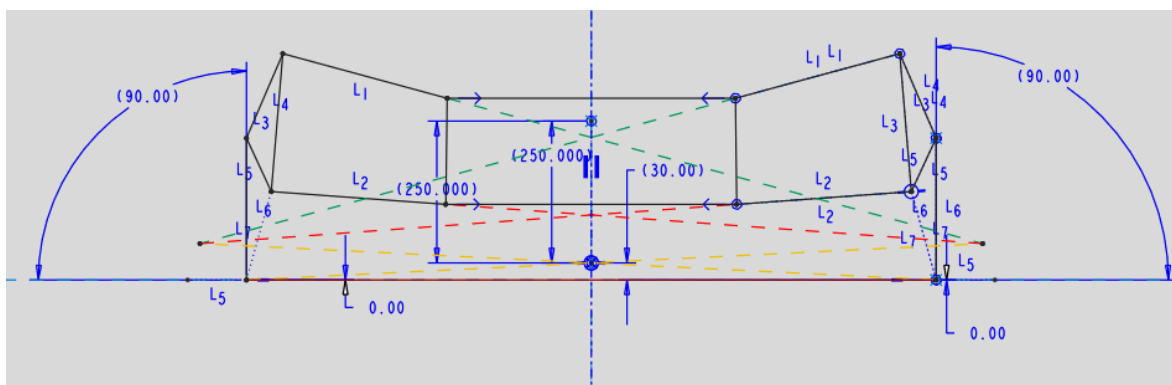


32. ábra: Oldalsó Instant Center szerkesztés

Mivel a futómű egyes pontjainak kiszerkesztésekor a jellegzetes pontok kiadódnak, ezért nem lehet előre meghatározni, hogy pl. a Roll Center hol helyezkedjen el. Erre kitaláltam egy iterációt segítő módszert, mely fordítva visszaszerkeszti a futómű pontjait, végeredményképpen pedig a kívánt Roll Center magassághoz szükséges koordinátákat kapjuk, így látható milyen irányba kell a forgástengely pontjait vinni (33. ábra, 34. ábra).



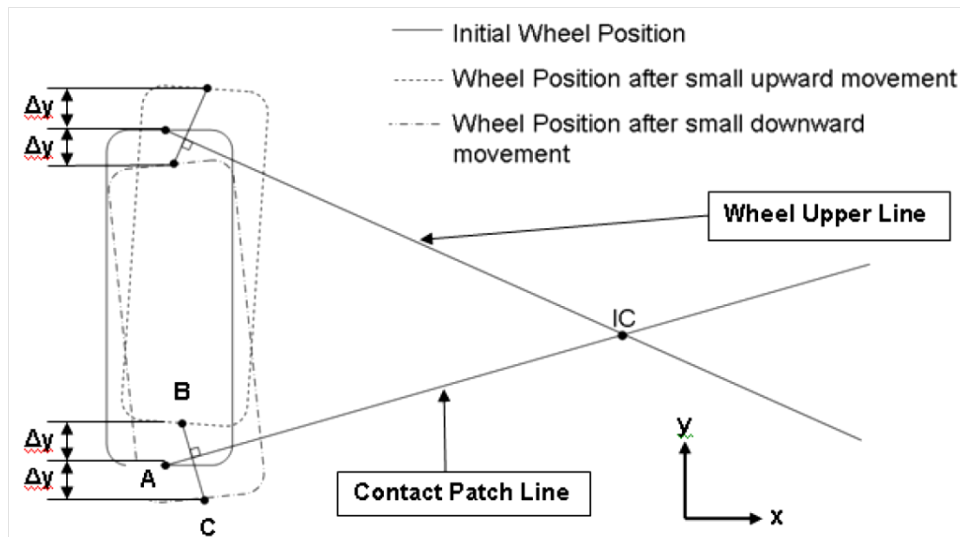
33. ábra: Roll Center megadása, futómű pontok visszaszerkesztése



34. ábra: Visszaszerkesztett futómű pontok mozgása

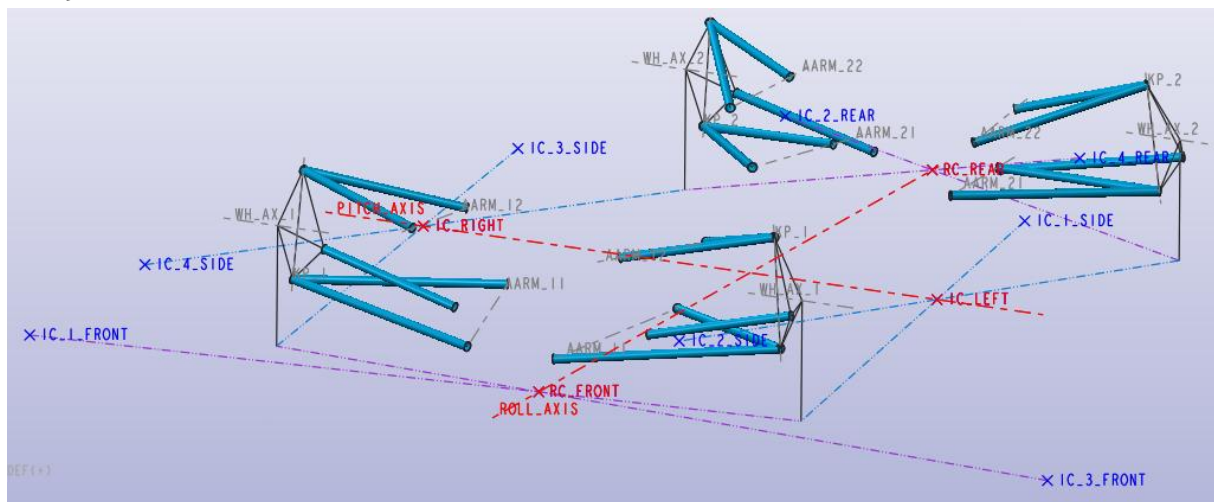
A szimulációs eredmények azonban sokszor nagy eltérésű eredményeket adnak a Roll Center és az Instant Center értékeire. Ennek az ún. berugózáskori elkormányzás az oka (Bump Steering). Ez a jelenség akkor lép fel, mikor berugózáskor a kerekek

nagymértékben szét- vagy összetartanak. Ebben az esetben a szerkesztést 3D-ben kell elvégezni, melyre szintén kidolgoztam egy megoldást. Az alábbi ábrán látható a szimulációs program által használt Instant Center szerkesztés, alatta pedig a modellben megvalósított összeállítás (35. ábra).



35. ábra: Instant Center szerkesztése a kis kitérésű kerékmozgás módszerrel

A Creo program nem ad lehetőséget térbeli vonalak sketch-szerű szerkesztésére, ezért sajnos nem tudtam megoldani ezen a szinten, hogy a különböző értékekhez tartozó Instant- és Roll Centert azonnal kiszámolja. A szerkesztést tehát csak alkatrészek összekényszerzésével tudtam megoldani, melyről későbbi fejezetben lesz szó (36. ábra).



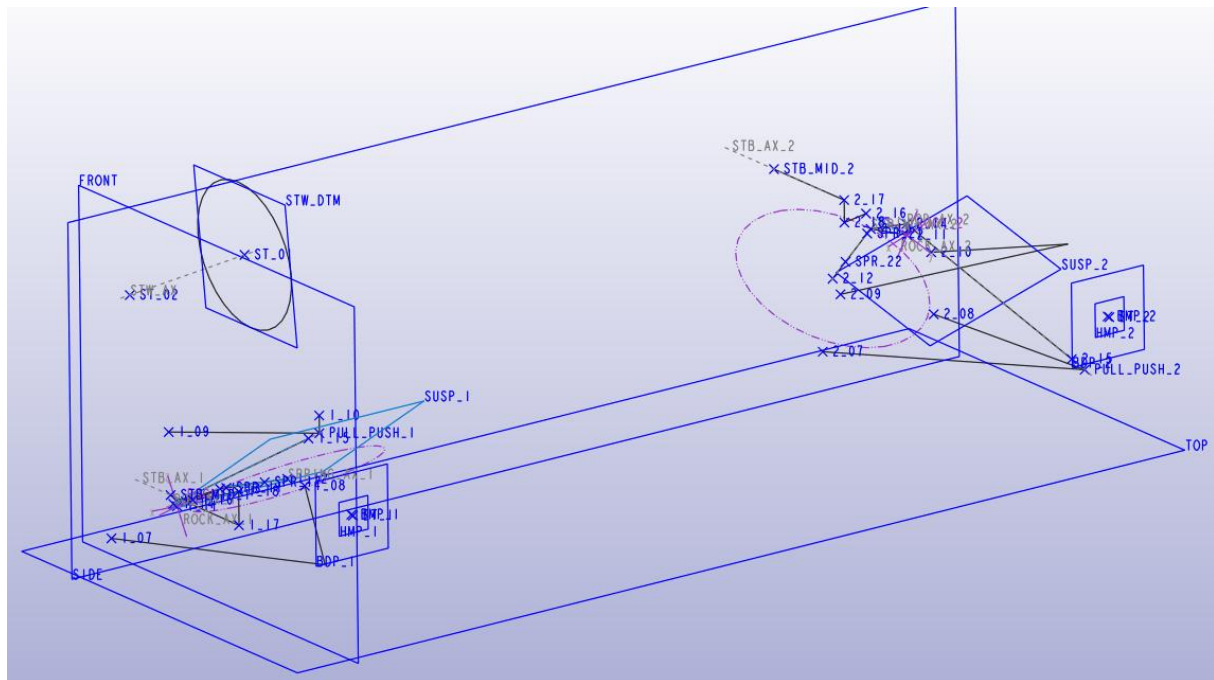
36. ábra: Futómű pontjainak és tengelyeinek kiszerkesztése nagy önkormányzás esetén

4.4.3 III. szint

A harmadik szinten történnek a részegységek legfőbb elemeinek referenciáinak definiálása (40. ábra).

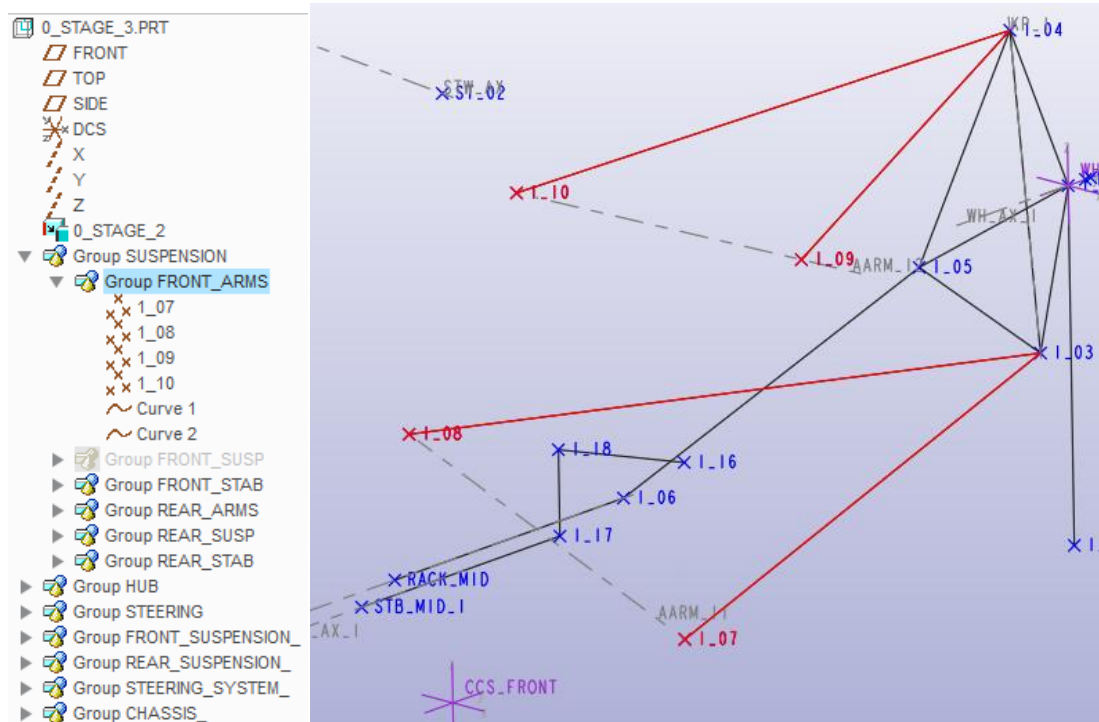
- Lengőkar háromszögének pontjai
- Himbarendszer geometriája

- Stabilizátor rendszer referenciái
- Kormánykerék referenciák
- Kerékagy referenciák



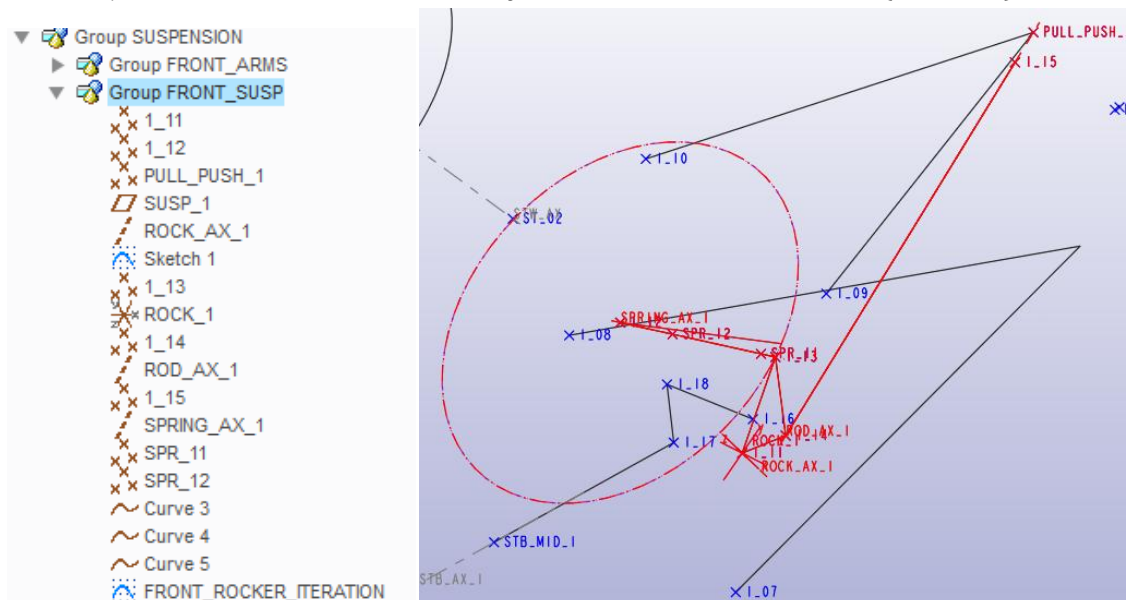
37. ábra: III. szint

A lengőkar pontjainak definiálása az előző szintről jövő forgástengelyekre történik, így a lengőkar geometriájának változtatása nincs hatással az előre felvett, vagy beállított futómű karakterisztikára (38. ábra). Ez nagyban segíti a váztervezést.

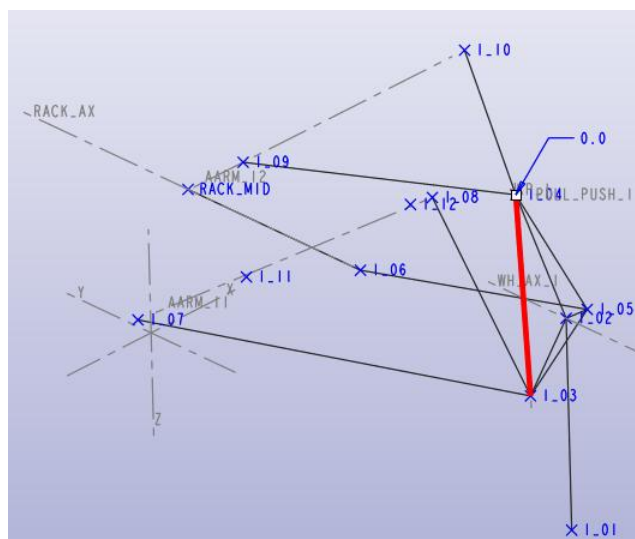


38. ábra: Lengőkar pontok a forgástengelyen

A himbarendszerrel nagy problémát jelentett az ún. nyomott vagy húzott rudas változat megoldása (Pullrod 39. ábra, Pushrod). A himbarendszert három alappont határozza meg: a rugóstag vázfelőli bekötése, a himbatengely közepe és az adott lengőkar csúcspontja. A problémát sikerült megoldanom egyetlen pont átírásával, melyre PULL_PUSH_-nak neveztem el, attól függően első, vagy hátsó futóműről van szó. Helyzete a tengelycsonk állvány két végpontja lehet –azaz a lengőkarok csúcsai–, mely egyből átváltoztatja a húzott rudas változatot nyomott rudassá és fordítva (40. ábra).



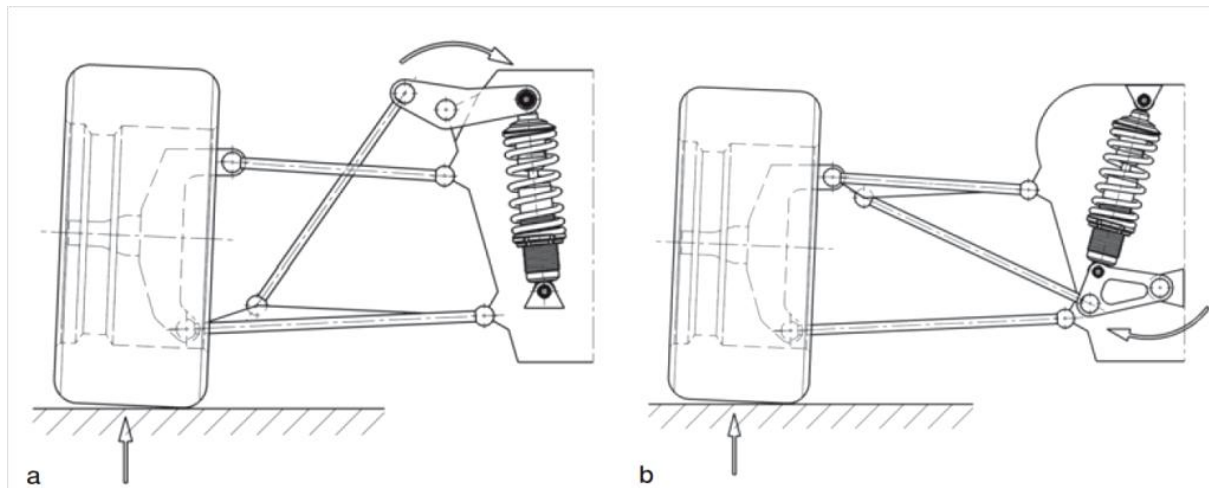
39. ábra: Himbarendszer definiálása



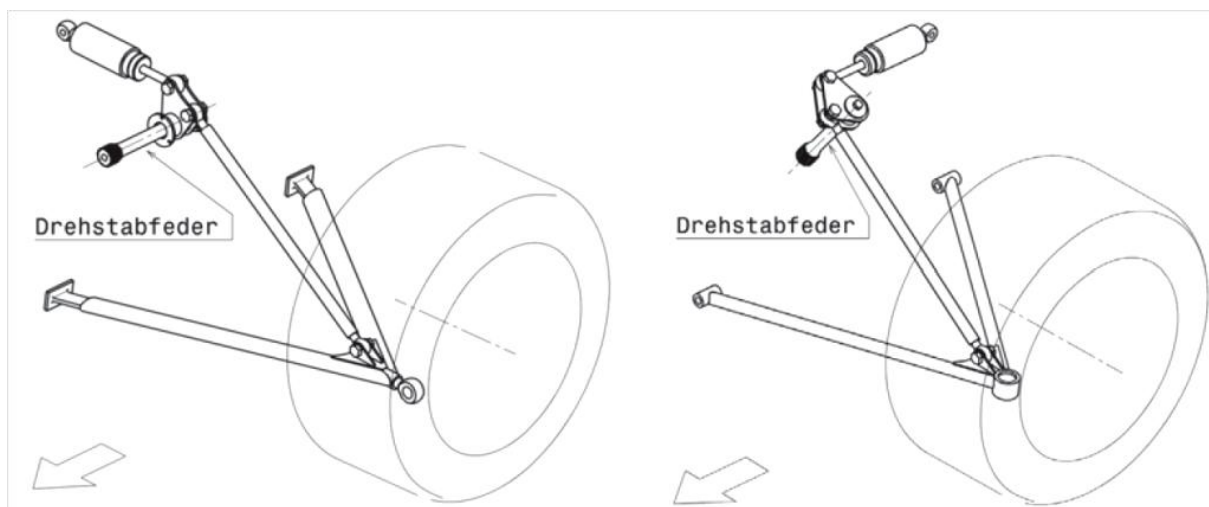
40. ábra: Húzott- vagy nyomott rudas himbarendszer megválasztása 1 pont alapján

A rugós tagok szemtávolsága statikus helyzetben egy konstans, így felvettem egy kört és azon egy pontot, így gyorsan állítható a himba áttételezése.

A himbarendszerek elhelyezése és a húzott vagy nyomott rudas megoldások nagyon változatosak a Formula Student-ben, de sikerült olyan modellfelépítést kitalálnom, mellyel könnyen létrehozható mindegyik. A következő ábrákon a megvalósítható himbaelrendezéseket láthatjuk (41. ábra és 42. ábra).

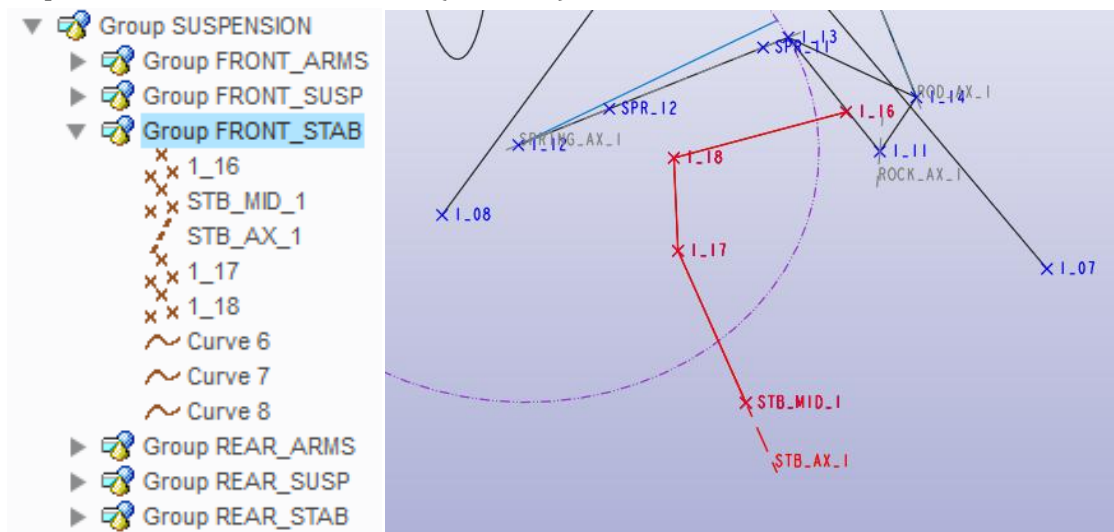


41. ábra: Nyomott- és húzotttrudas himbarendszer álló rugóstag esetén

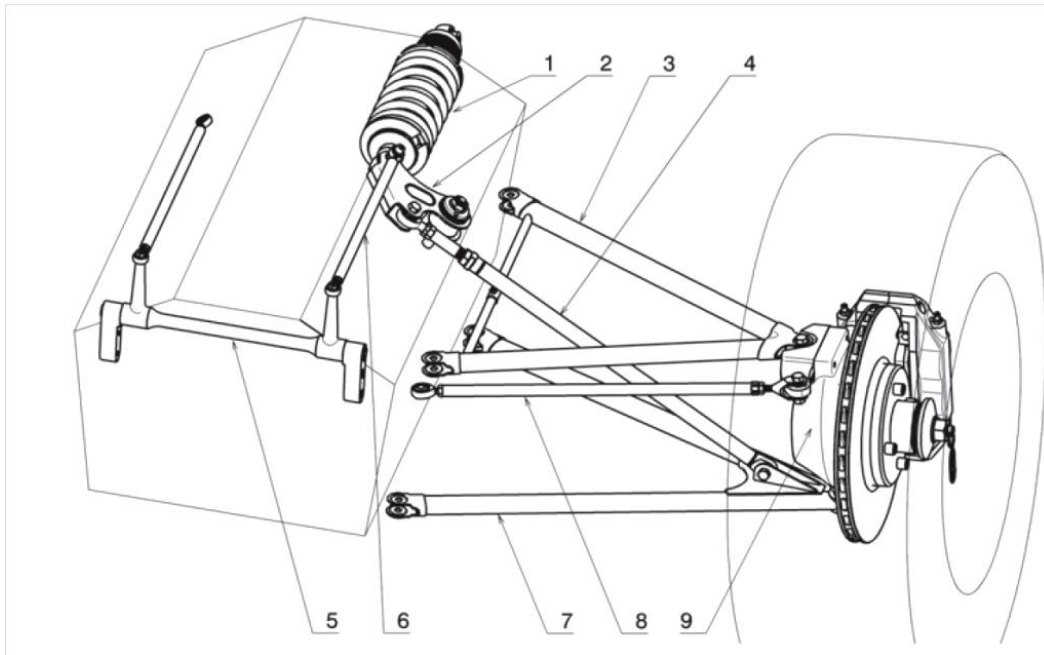


42. ábra: Nyomott himbarendszer fektetett rugóstag esetén

A stabilizátor megoldások is igen változatosak, ezek közül a legtöbbet használt megoldás az U alakú stabilizátor (44. ábra), mely az alábbi ábrán látható alappreferenciákkal rendelkezik (43. ábra).



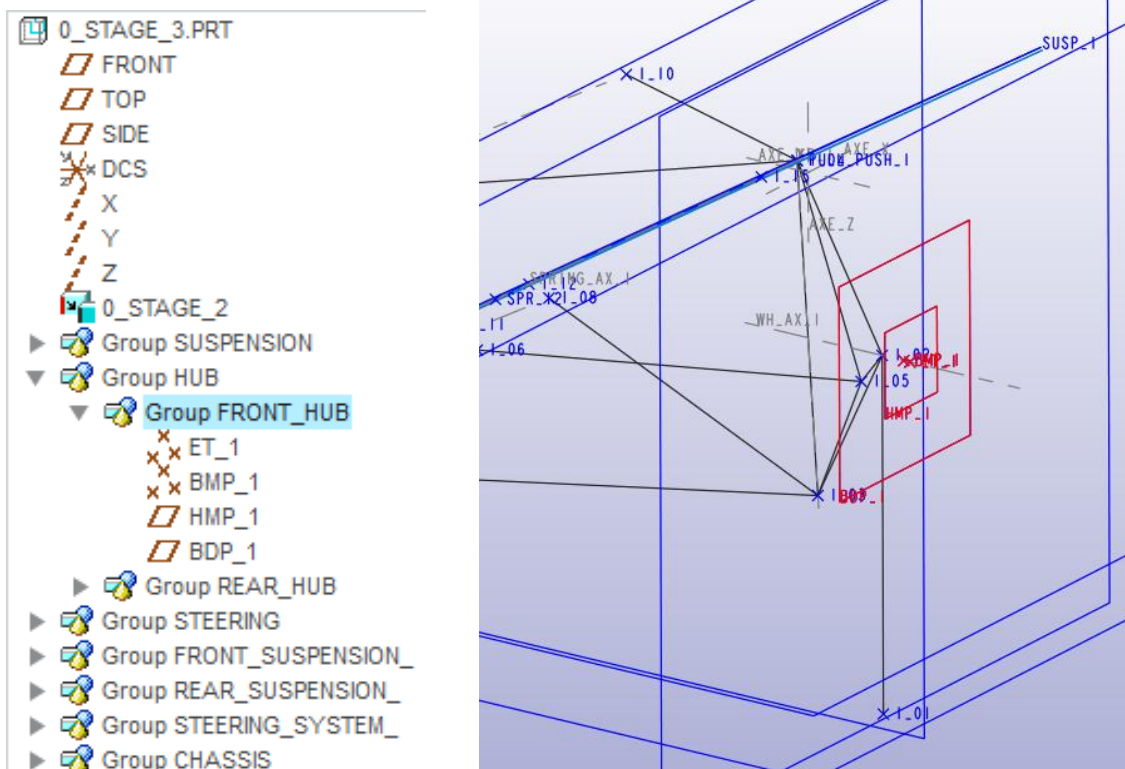
43. ábra: Stabilizátor felépítése



44. ábra: Legelterjedtebb stabilizátor típus

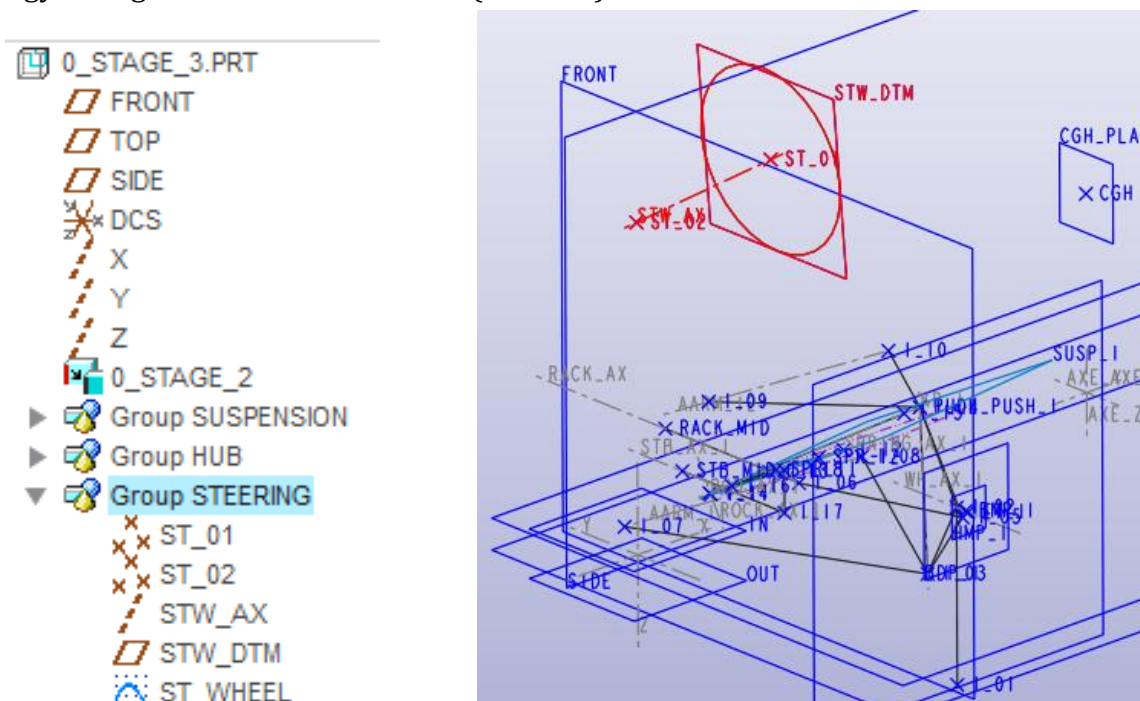
A kerékagyhoz szükséges referenciák az alábbi ábrán láthatóak: 45. ábra. Definiálásuk fontos, mivel a kerékagy, a fékrendszer és a felni közös referenciáit képzik. Ezek a következők:

- ET szám és sík: a felni felfekvő felületének távolsága a kerék tengelyének közepétől (szabványos méretmegadás)
- Féktárcsa síkja és közepe



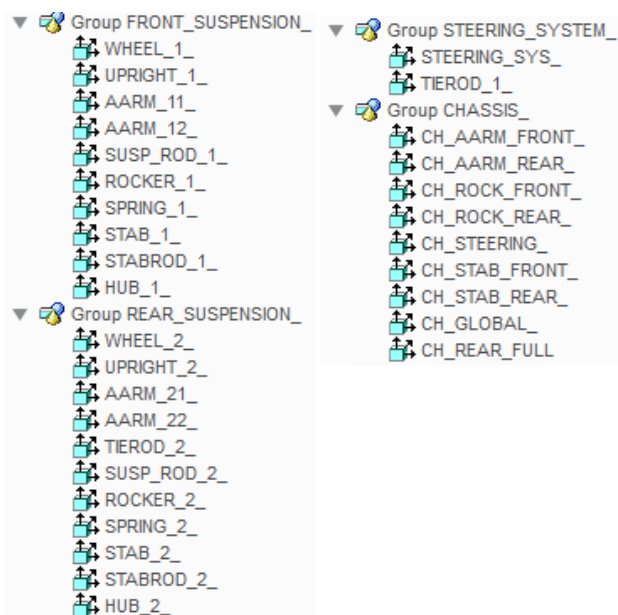
45. ábra: Kerékagy referenciái

A kormánykerék referenciáit nagyon leegyszerűsítettem, mivel a kormányrendszer a váztervezésbe két féle képpen szől bele: kormánymagasság és pozíció, kormányrendszer rögzítése. Ezekből azonban csak a kormánykerék pozíciója az, ami ilyen magas szinten definiálható, hiszen a pilótapozíció egyik alapját képi, mely az egyik magasabb szintű referencia (46. ábra).



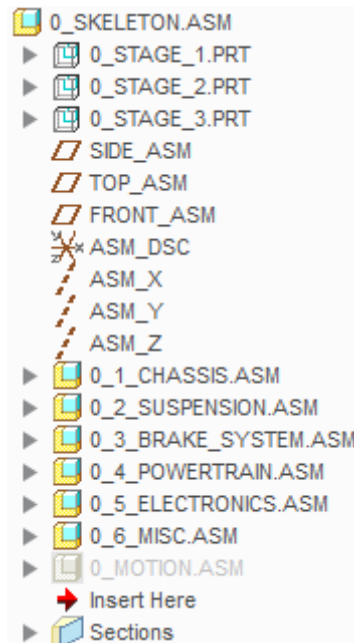
46. ábra: Kormányrendszer referenciái

Ezek a fő referenciák határozzák meg a futóművet és a vázat. A referenciákat Publish Geometry-ba csoportosítottam, így könnyen beépíthetők a következő szintek bármelyikébe.



47. ábra: Futómű és a váz legmagasabb szintű referenciái

Az első három lépcsős hivatkozású szintrendszer végeredménye tehát a fenti ábrán látható referenciacsomagok, melyeket a további részegységekben elhelyezkedő skeleon alkatrészekbe építtem be (48. ábra).

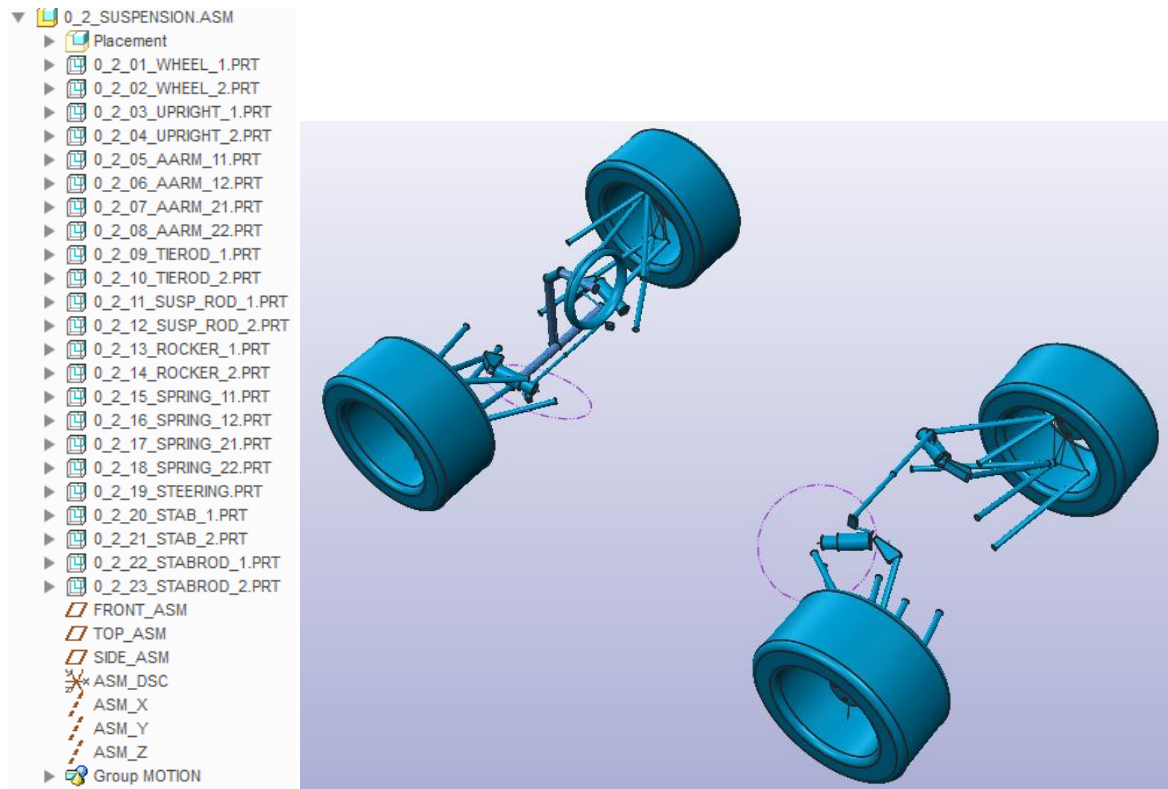


48. ábra: Skeleon legfelső referenciái

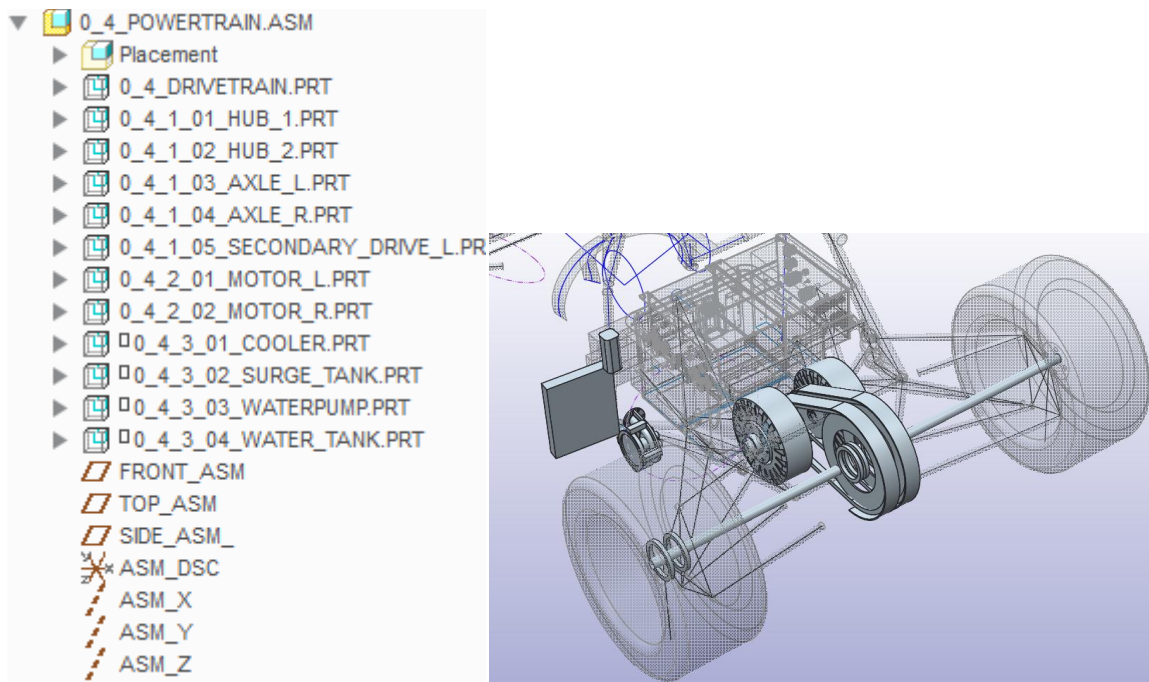
4.4.4 Skeleon részegység szint

A most készülő elektromos versenyautónk skeleon részegységei közül láthatunk képeket (49. ábra, 50. ábra és 51. ábra). Az alkatrészek további skeleon-jainak építése már nem túl egységes ezért nem egyértelmű milyen referenciákat definiálhatunk bennük. Erre legegyszerűbb példa az elektronikai részegységek, melyek többnyire elhelyezés iterációval „kerülnek a helyükre”, továbbá a koncepcionális tervezés kezdeti szakaszában itt még nem lehet tudni, milyen jellegű csatlakozási pontjai lesznek a dobozoknak, ill. alkatrészeknek, mert függ a vázkialakítástól, ill. az őt körülvevő elemektől. A koncepcionális tervezés ezen szakasza tehát már elég egyedi csapatonként.

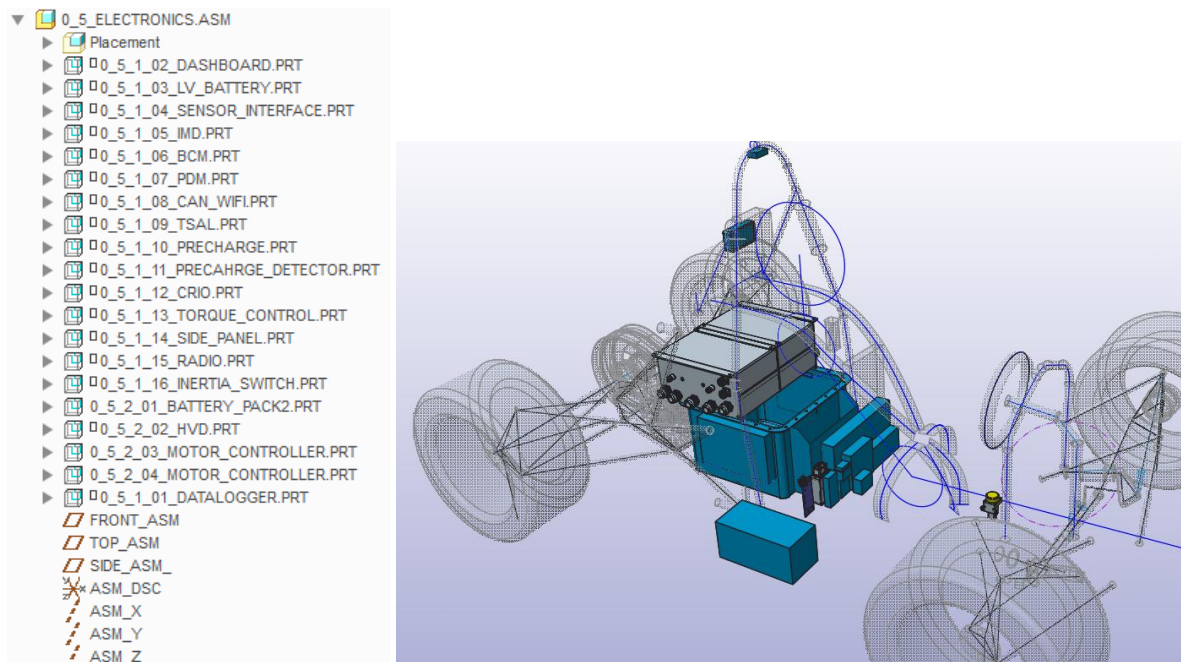
A támogatási csomagban szereplő felépítés tehát csak irányadó lehet, de jól tudja szemléltetni a gondolkodásmódot.



49. ábra: Futómű skeleon részegység



50. ábra: Hajtáslánc skeleon részegység



51. ábra: Elektronika skeleon részegység

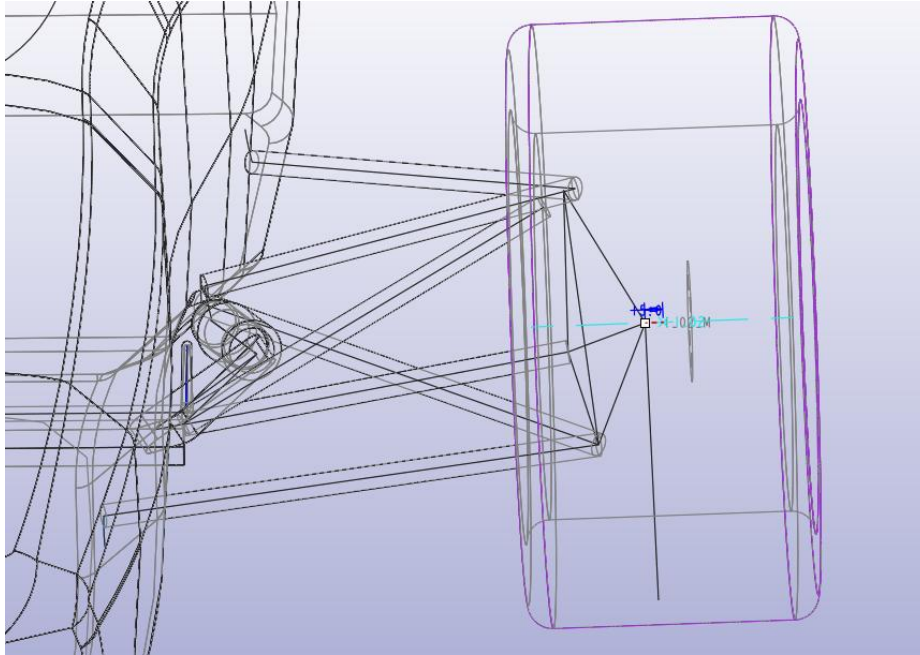
4.5 Dinamikus analízis modell

A skeleon részegység szinten belül található a 0_MOTION, mely tartalmaz negyed-, fél- és egészjármű modelleket. A negyed járműmodellek viszonylag nagy változásokra sem érzékenyek, a fél- és egészjárműves összeállítások azonban csak akkor futtathatóak le sikerrel, ha a mozgás szimulációk nem jeleznek problémát a negyed járműmodellek esetében.

Az iterációs tervezést az analízis modellek futtatásával lehet könnyíteni, melyek csökkenthetik a szimulációs futtatások számát, ill. mozgástartományt lehet kirajzoltatni. A mozgásanalízisek lefuttatásához, összeállításához és vizsgálásához olyan egyszerűsített alkatrészekre van szükség, mely csak a vizsgálatokhoz lényeges elemeket tartalmazza. Erre a célra a futómű és a váz skeleon alkatrészeibe különválogattam a szükséges elemeket. Az így létrehozott alkatrészekbe ennek segítségével további elemek vehetők fel, melyek csak az analízisekhez szükségesek, így ezzel a résszel is tud egy külön csoport foglalkozni a tervezéstől függetlenül.

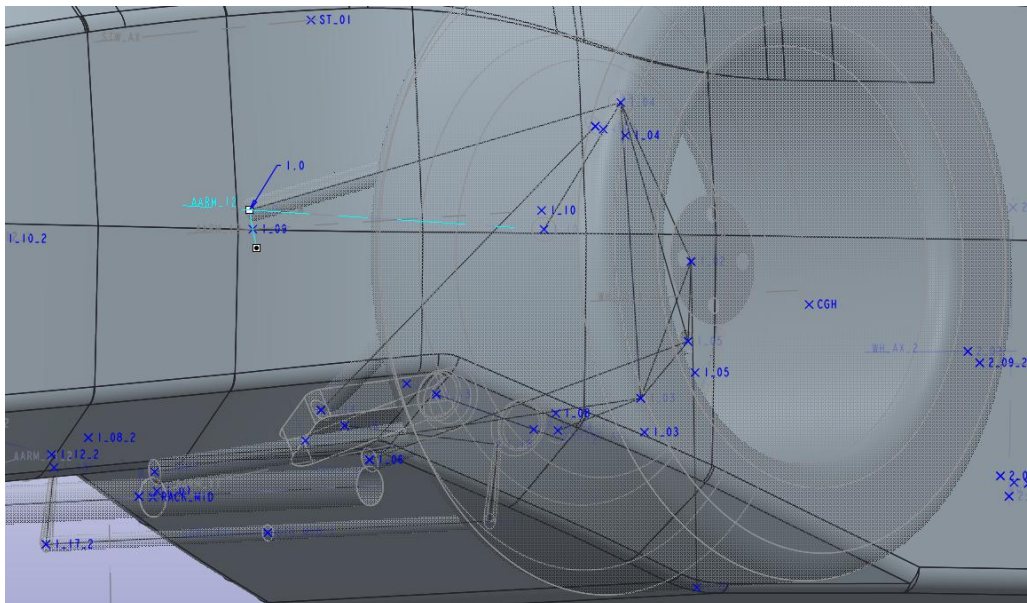
Az analízisek olyan állapotokat is kell, hogy tartalmazzanak, melyekkel a futómű egyes beállításainak véghelyzetei is ellenőrizhetők, ill. megvizsgálhatóak, milyen hatásuk van a karakterisztikára nézve. Ilyenek a következők:

- Nyomtávállítás (szélesítő pogácsák az autó felnie és a tengelycsonk állvány közé): a kerék skeleon-jában állítható tengelyirányú paraméter (52. ábra)



52. ábra: Nyomtávállítás skeleton analízis szinten

- Különböző lengőkar állások (53. ábra): versenyszámok között gyakran szoktak pályára beállított futómű karakterisztikákat állítani, ennek egyik módja, hogy a lengőkarokat különböző furatokba helyezik át, mint az alábbi képeken

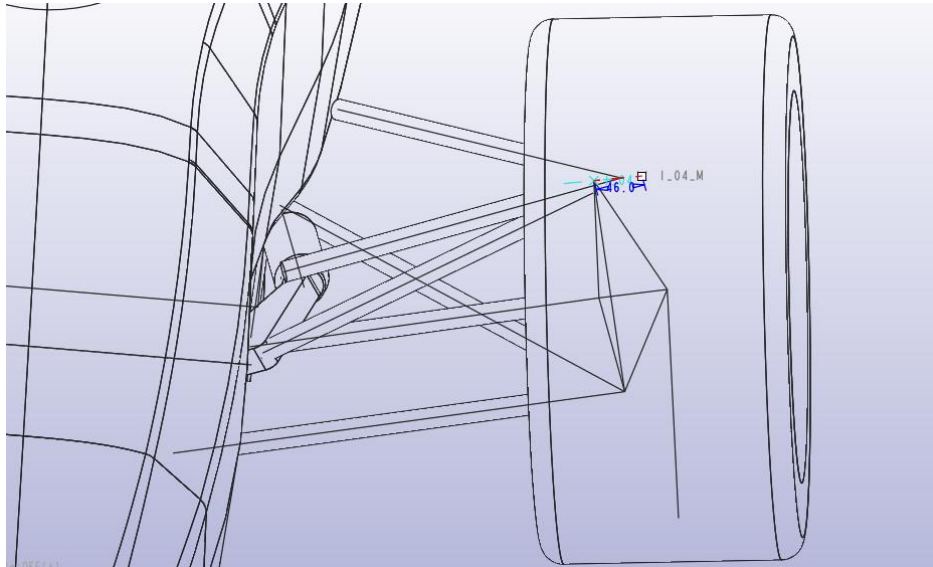


53. ábra: Különböző lengőkar bekötés állítása skeleton analízis szinten

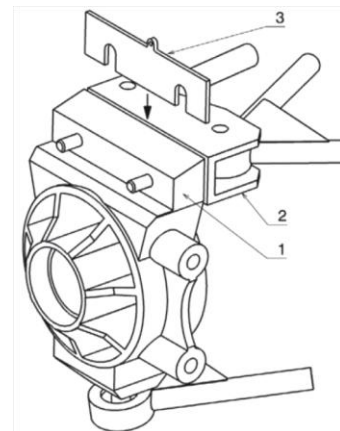
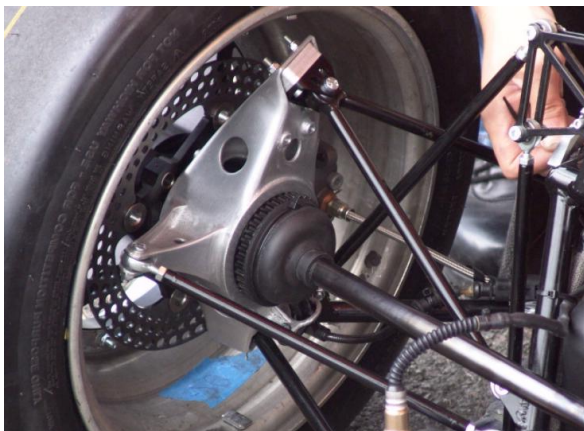


54. ábra: Lengőkar bekötés változtatása a valóságban

- Kerékdőlés állítás (55. ábra): a gumikarakterisztikát nagyban meghatározza, főként a gumimelegedést és a gumikopást, dőlését a tengelycsonk állványon elhelyezett csavarozható, vagy hézagolható futómű bekötéssel szokták állítani

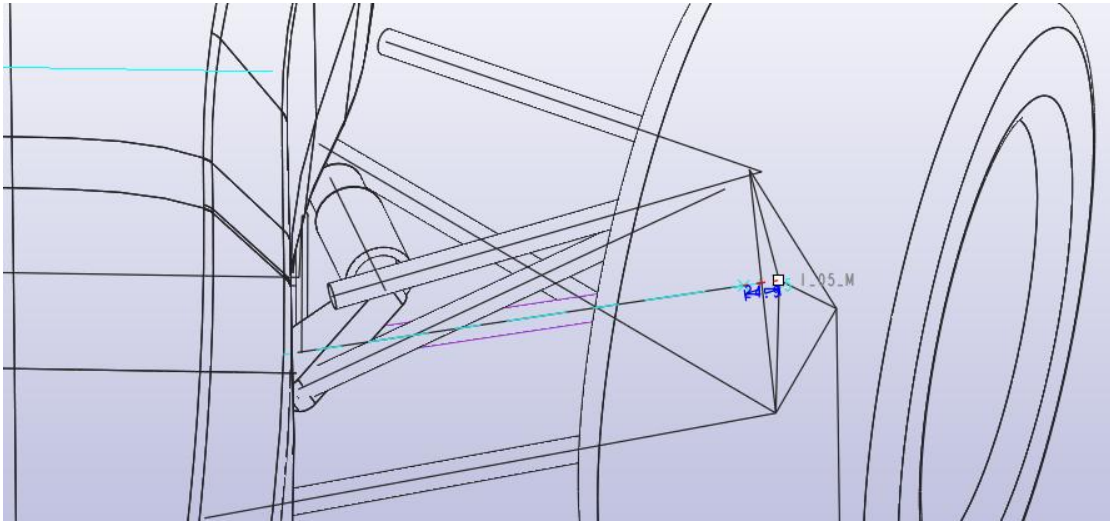


55. ábra: Kerékdőlés állítása a skeleton analízis szinten



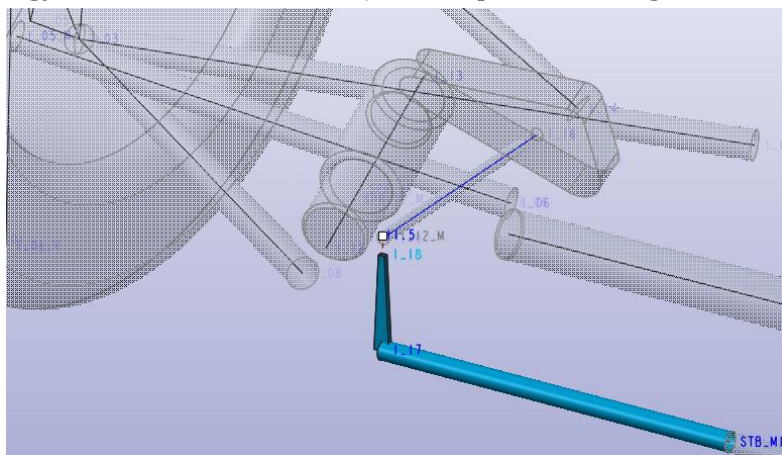
56. ábra: Kerékdőlés állítása a vasóságban

- Szét- összetartás állítás (57. ábra): a kormányzásért felelős futóműelem hosszának változtatásával állítható egy konstans szét és összetartás, mivel a hosszváltoztatás kicsit elkormányozza a kereket, állítástól függően

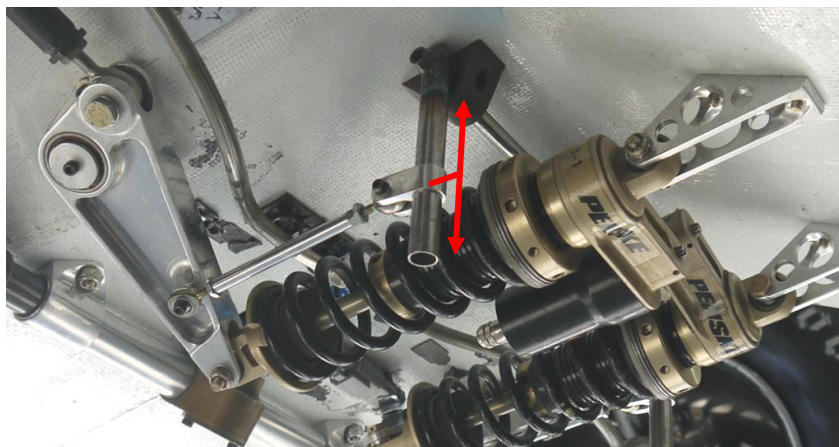


57. ábra: Szét- és összetartás állítás a skeleon analízis szinten

- Stabilizátor merevítés (58. ábra): nagyban meghatározza az átterhelődés mértékét, gyakran szokták állítani, jobb csapatoknál még menet közben is

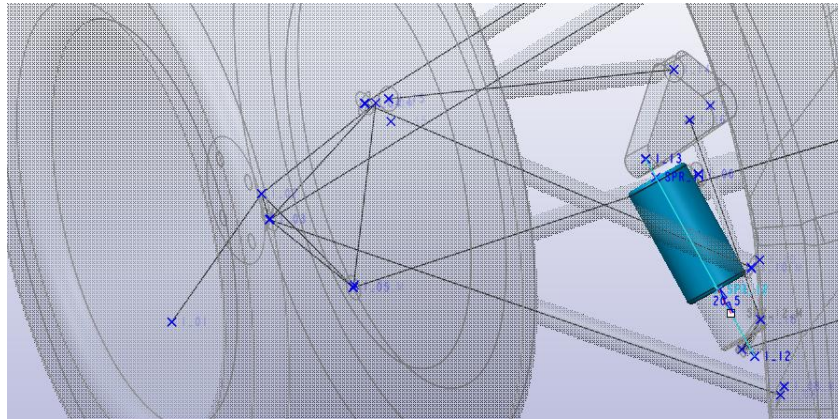


58. ábra: Stabilizátor merevség állítás skeleon analízis szinten



59. ábra: Stabilizátor merevség állítása a valóságban

- Rugó előfeszítés állítás (60. ábra): a futóművet merevíti, ill. kisebb mértékben a hasmagasságot is állítja

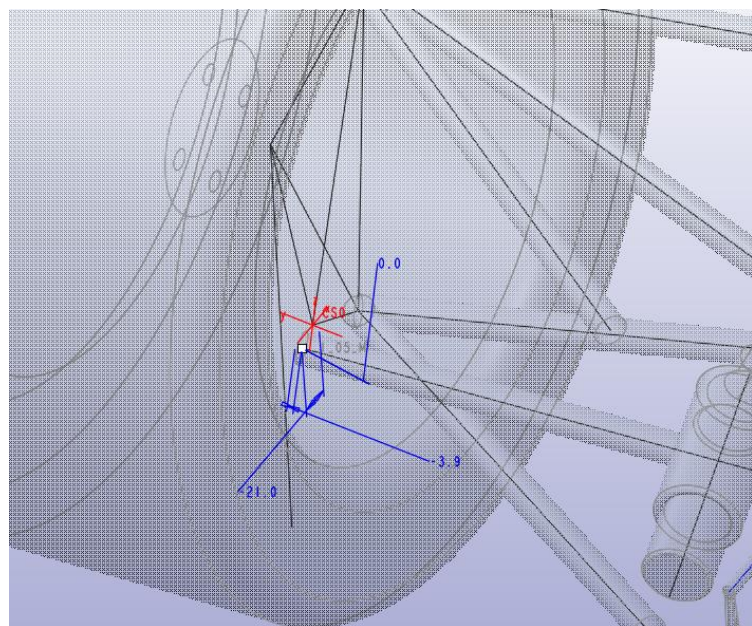


60. ábra: Rugó előfeszítés állítás a skeleon analízis szinten

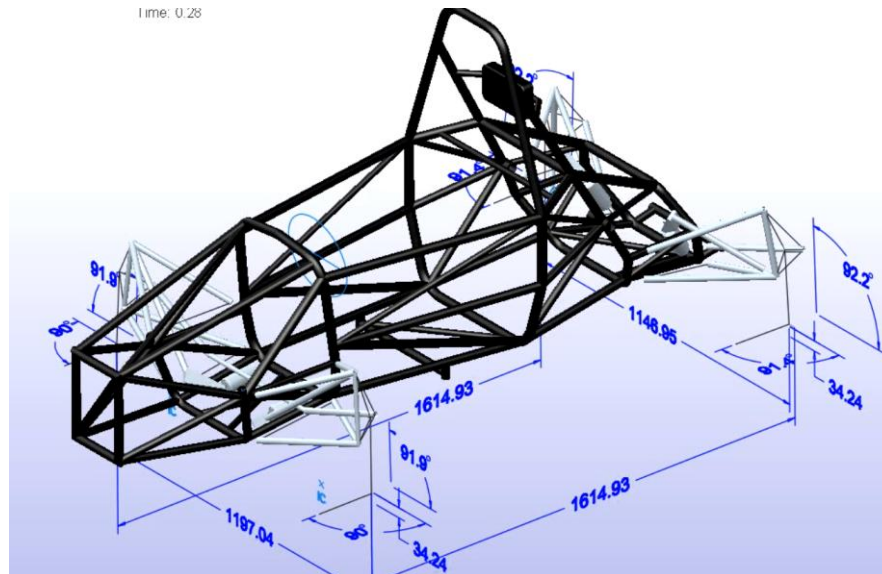


61. ábra: Rugó előfeszítés állítás a valóságban

- Ackerman geometriaállítás (elkormányzási karakterisztika, 62. ábra): az első kormányrúd különböző helyzetekbe való állítása módosítja az elkormányzott kerekek kormányzási áttételét, mely befolyásolhatja a gumiviselkedést és a kanyarodási képességet



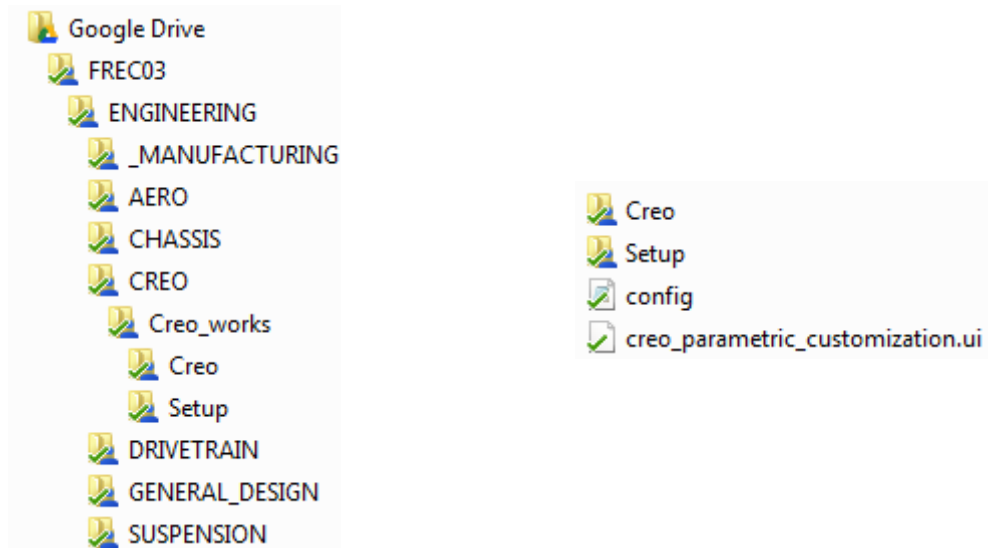
62. ábra: Ackerman geometria állítás a valóságban és a modellben



65. ábra: Ki-be rugózás analízis

5 Beállítás környezet

A program kényelmesebb és egységes kezelése érdekében saját beállítás környezetet is készítettem, az egyetemünkön használt megoldás alapján. A beállításokat egy Creo_works nevű mappából tölti be a program (66. ábra). A mapparendszerünk felépítése az alábbi ábrán látható.

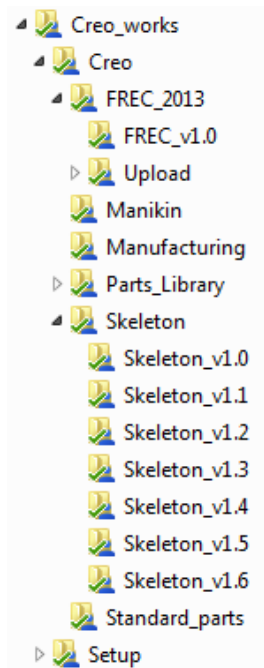


66. ábra: Creo_works munkakönyvtár

5.1 Mapparendszer

A Creo_works mappa tartalmaz minden információt, ami a tervezéshez szükséges. Alapvetően két részből áll: a Creo és Setup mappákból (67. ábra).

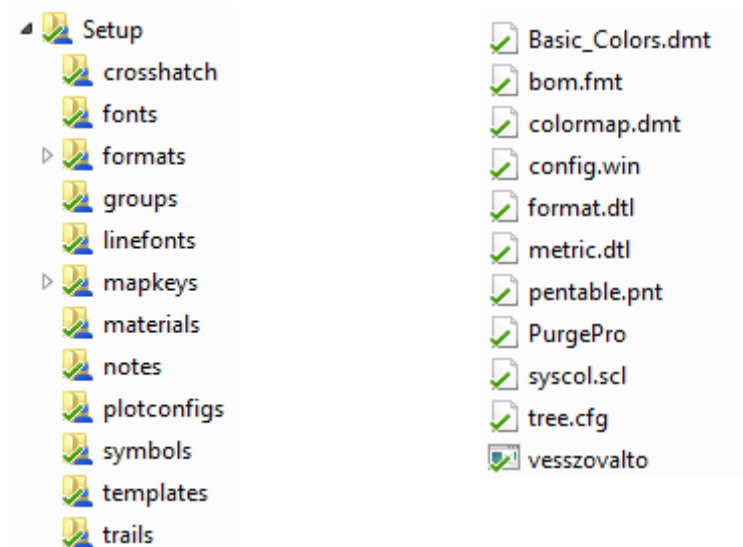
A Creo mappában találhatóak azok a mappák melyben az autó modelljeit kezeljük, itt további mappákra osztottuk szét az információkat:



67. ábra: Creo_works mappa tartalma

- FREC_2013: a most készülő autónk egészmodelles verziókövetése található benne, melyet csak a CAD felelős hozhat létre, és mindig az aktuális legújabb verziót felhasználva dolgozik mindenki. A mappa tartalmát csak a főmérnök kezelheti, így más oda nem mentheti az adatait, a személyenkénti verziók a következő mappában találhatóak.
- Upload: Ebben a mappában a felhasználók nevei találhatóak, azon belüli rendezettségért a mappa tulajdonosa a felelős. A CAD felelős ezekből a mappákból tudja összeállítani a legfrissebb autómodellt.
- Manikin: a Creo embermodell részei
- Manufacturing: a gyártásért felelős ide vezeti a gyártásba kiküldött alkatrészek és rajzok sokaságát
- Parts_Library: olyan alkatrészeket és vásárolt alkatrészeket tartalmaz, melyek letölthetőek, vagy egyszer bemodellezendőek. Ilyen pl. egy belsőégésű motor szkennelt felületmodellje, vagy a pilótasisak, rugóstag, kormány, szenzorok, csatlakozók...
- Skeleton: a skeleton design freez előtti verziókat tartalmazza, ahogy fejlődik és iterálódnak össze a referenciák
- Standard part: a szabványos alkatrészek gyűjtőhelye

A Creo_works másik mappája a Setup mappa, ami az egységes programkörnyezetet és sablonokat tartalmazza (68. ábra).



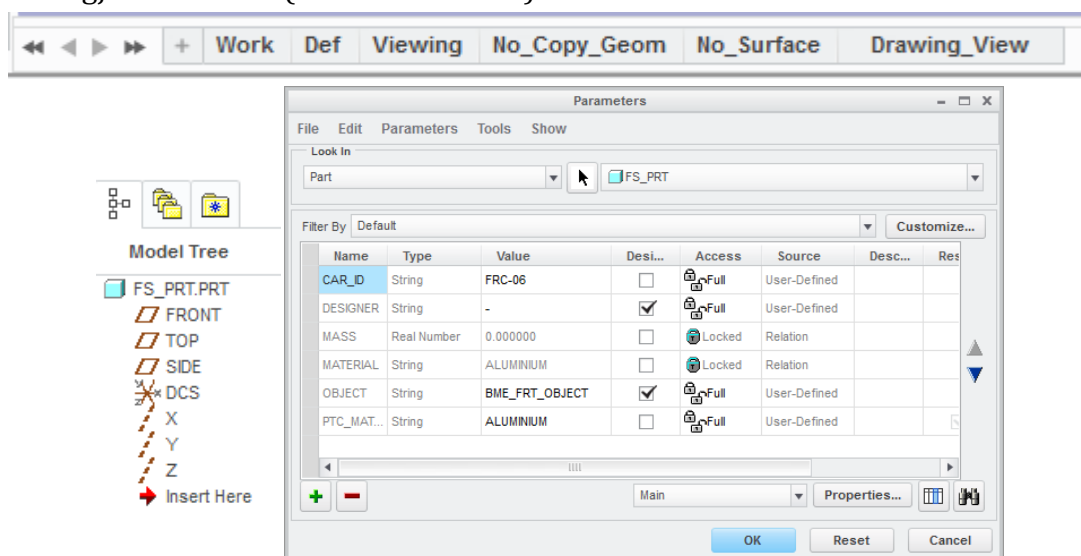
68. ábra: Setup mappa tartalma

A mappának ez a része nem sokban tér el az egyemen használt változattól, a különbség a sablonalkatrészekben, összeállításban és rajzsablonokban található.

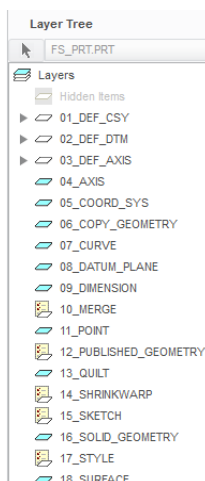
5.2 Egyedi beállítások, sablonok

A sablon alkatrészben módosultak a következők (69. ábra):

- Alap koordináta-rendszer, síkok és tengelyek felépítése és elnevezése
- Alapparaméterek
- Layer-ek
- Modellpontosság
- Megjelenítő fülek (Combined Views)



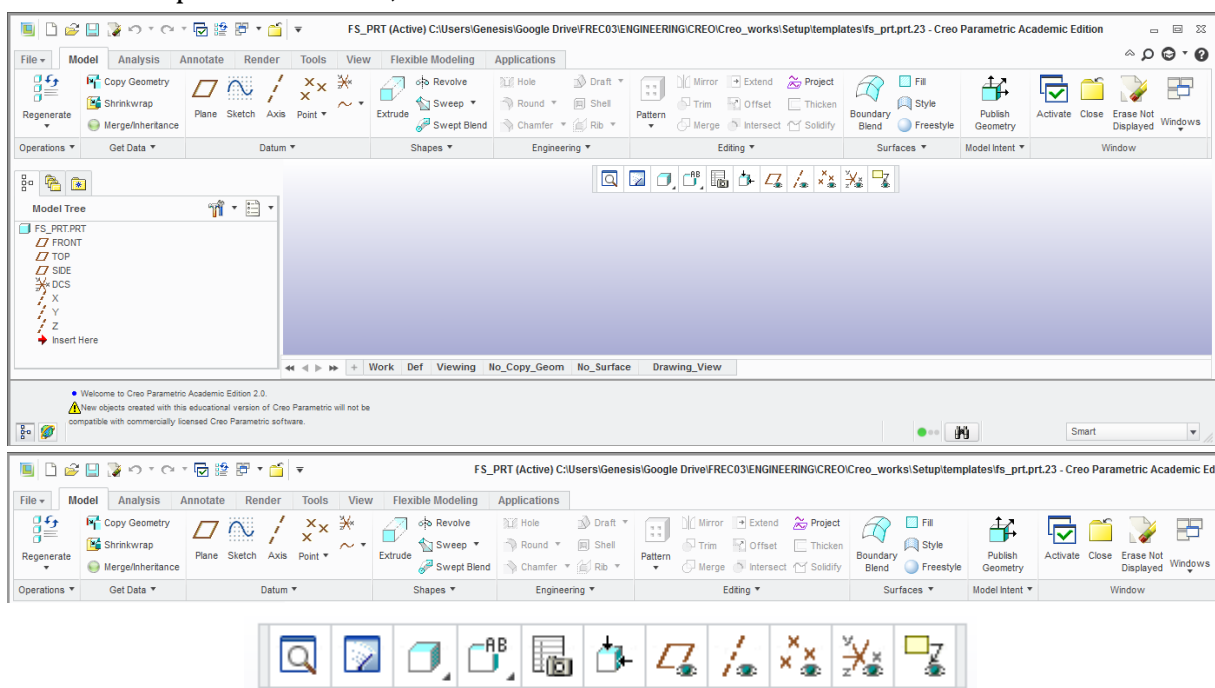
69. ábra: Sablon alkatrész paraméterei



70. ábra: Layer felépítés

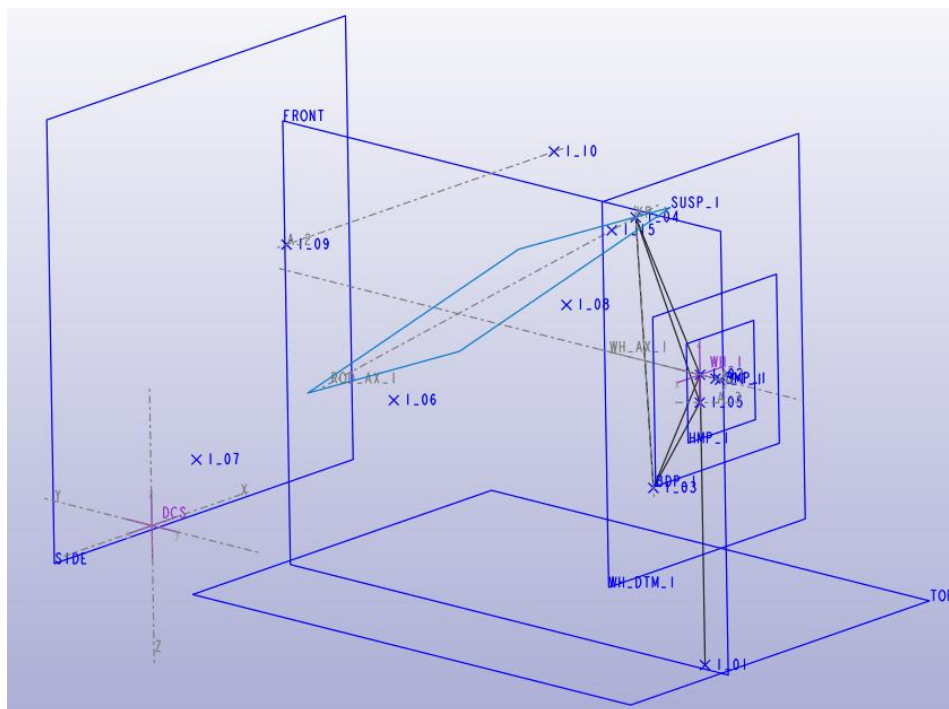
5.3 Kezelőfelület

A Creo_works mappában található az egységes beállítás (config.pro) és a kezelőfelület egyedi, saját tapasztalataimon épülő alapbeállításai, melyet természetesen mindenki személyre szabhat (creo_parametric_customisation.ui). A Creo-ban 16 Ribbon-nézetben történtek változtatások, beleértve a következő modulokat: standard part, mechanism, simulation, style, drawing, assembly part. Az alábbi ábrán láthatóak a .prt alkatrész alap kezelőfelülete, 71. ábra.



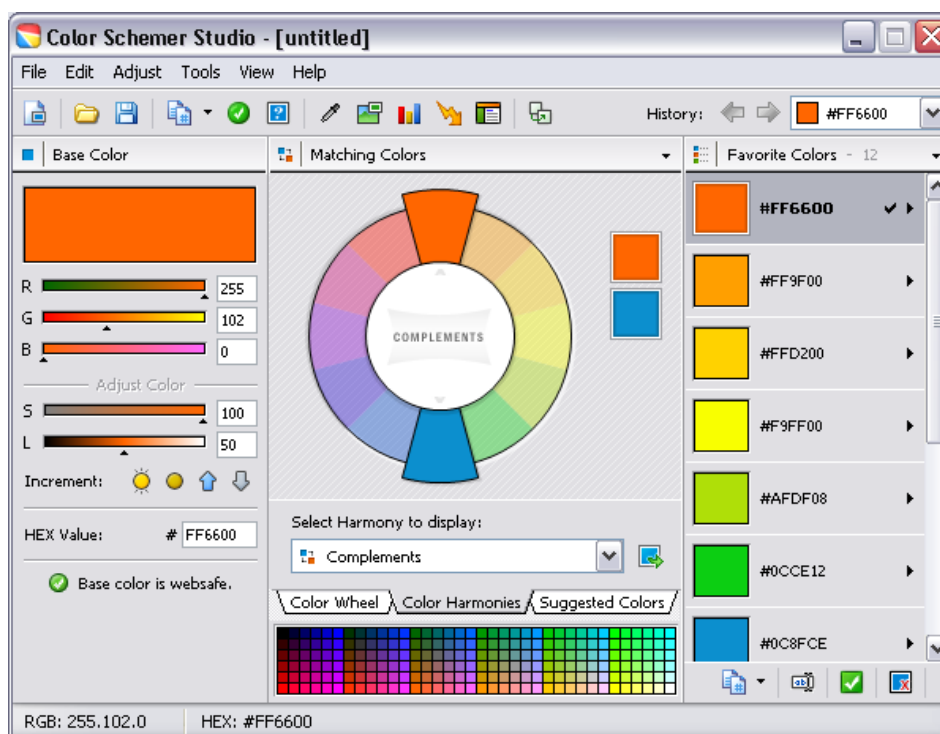
71. ábra: *.prt file-ok kezelőfelülete

Az ikonokon és a ribbon-beállításokon kívül elkészült egy saját színbeállítás is, melyet nagyon sok szempontból vizsgáltam meg, többek közt más programokban használt színsémákat is tanulmányoztam, melyik színrendszer használható legkönnyebben és legátláthatóbban (72. ábra). Az eredményt az alábbi ábrán láthatjuk.



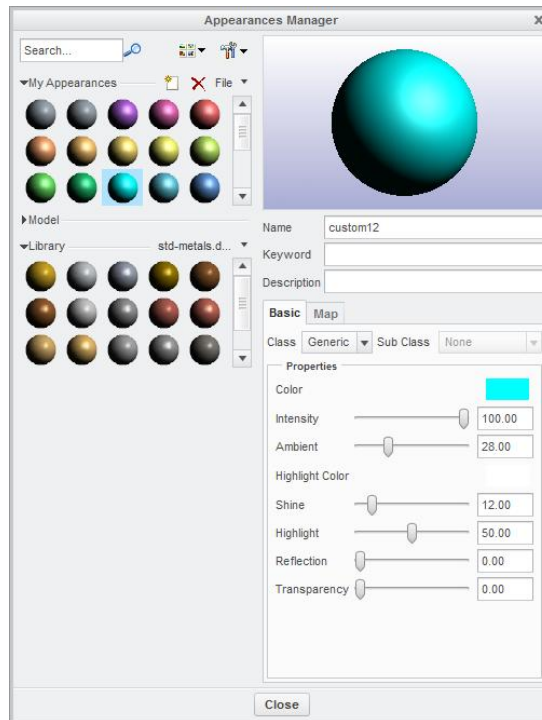
72. ábra: Színek a modelltérben

A geometriai elemek színein kívül készítettem még egy saját színskálát, melynél azt vettem alapul, hogy a színek ugyanolyan színárnyalatban legyenek, így bármilyen kombinációt használunk a színeknek egyforma árnyalatuk lesz. Ez megjelenítési szempontból előnyösebb és esztétikailag is szebb megjelenést biztosít. Erre a problémára interneten letölthető programot, a Color Schemer Studio-t használtam (73. ábra).



73. ábra: Color Schemer

A beállított színsorozatot az alábbi ábrán láthatjuk (74. ábra).



74. ábra: Beállított színárnyalatú színek

6 Köszönetnyilvánítás

Munkámat segítették:

- BME Formula Racing Team
- S&T Consulting Hungary, Nyíró Ferenc, Marschek Zoltán
- C3D Kft., Piros Attila
- Farkas Zsolt
- Bári Gergely
- Bácsi András
- Klajbár Csaba
- Székely Béla