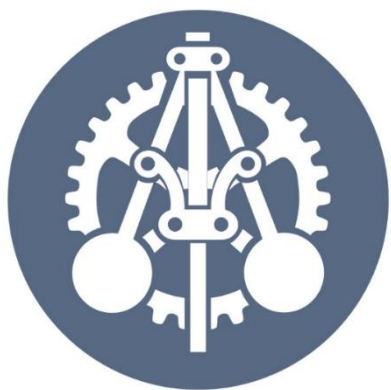




M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2



36. ORSZÁGOS
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI
KONFERENCIA 2023

Műszaki Tudományi Szekció

Jármű felfüggesztésének vizsgálata pályakövető körídő szimuláció segítségével

Szerző: Mózer András

Konzulens: Dr. Farkas Zsolt

2021.11.07.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, Dr. Farkas Zsoltnak, aki észrevételeivel és tanácsaival segítette munkámat.

Köszönöm továbbá a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszékének az AMESim szoftverrel történt munkám megkezdésében nyújtott segítséget. Ezen belül külön köszönöm Dr. Sente Viktor adjunktusnak.

Emellett szeretném megköszönni a BME Go-Kart, Go-Bosch! csapatának a gokart rendelkezésemre bocsátását.

Végezetül szeretném megköszönni mindenkinek aki a dolgozat írása során támogatott, és gondolatébresztő megjegyzésekkel látta el munkámat.

Tartalom

I. Bevezetés.....	2
II. Szakirodalmi áttekintés ^{[1] [2] [3]}	4
2.1. Futóművek állíthatósági lehetőségei	5
2.1.1. Kerékösszetartás (δ)	5
2.1.2. Utánfutás (n, τ)	6
2.1.3. A zavaró erő karja (r_{St}).....	7
2.1.4. Kormánylegördülési sugár (r_s).....	7
2.1.5. Kerékdőlés (γ)	8
2.1.6. Csapterpesztés (σ)	8
2.1.7. Kanyarodási szögeltérés	10
2.1.8. A gépkocsi tényleges haladási iránya, vagy geometriai menettengely	10
2.1.9. A futóműveket terhelő erők.....	12
2.2. Merev felfüggesztések ^[5]	14
2.3. Rugózott felfüggesztések.....	20
2.1.2. McPherson-féle futómű.....	20
2.1.3. Kettős keresztlengőkaros futómű.....	21
III. A szimuláció ^[6]	23
3.1. A pályakövető modell bemutatása.....	23
3.2. A futóműmodell bemutatása.....	33
3.3.1. Merev felfüggesztés	33
3.3.2. Rugózott felfüggesztés	36
IV. Eredmények, kiértékelés ^[6]	39
4.1. Merev felfüggesztés eredményei	39
4.2. Rugózott felfüggesztés eredményei.....	46
V. Összefoglalás.....	571

I. Bevezetés

A modern autóipar rengeteg kihívást tartogat a mérnöktársadalom számára. Az egyre szigorodó emissziós előírásoknak való megfelelés a hagyományos hajtásláncok sarkalatos tervezési követelménye lett. Emellett a laikus szemlélők számára is igen érdekes az alternatív hajtások kifejlesztésének folyamata, amely szinte havonta hoz új, a fosszilis üzemanyagokra építő hajtásokhoz képest radikálisan eltérő megoldásokat

Ezek mellett természetesen még rengeteg olyan területet tartalmaznak az autóipari fejlesztések amik ugyan elkerülik az átlag fogyasztó figyelmét, ugyanakkor rengeteg munkaóra fejlesztés áll mögöttük. Ilyen például a járműfelfüggesztés kérdésköre, mely ugyan nem mutatott szembetűnő változást az elmúlt években, viszont a folyamatos finomításokkal mára sikerült elérniük az autógyártóknak, hogy a kellő komfortérzet nem megy a menettulajdonságok rovására, valamint a különböző céllal készített személygépkocsik (egyterű, terepjáró, sportautó...) képesek speciális feladatokat is ellátni.

A felfüggesztések beállításában a legnagyobb szabadsággal a versenysportokban szereplő járművek rendelkeznek. Mivel a gyári beállításoktól való eltérés csak komoly tapasztalat esetén tud javulást biztosítani a menettulajdonságokban, így a futómű egyes elemeinek széleskörű állítására csak itt, a versenyszférában adnak lehetőséget a gyártók. A hétköznapi felhasználásra szánt alkatrészeket legtöbb esetben csak finomhangolni lehet.

Jelen dolgozatban egy versenycélokra alkalmas futómű vizsgálatát végeztem el. Ennek során egy Gokart példáján megvizsgáltam milyen hatással van a hagyományosan ezen a területen alkalmazott merev felfüggesztés a jármű menettulajdonságaira. Ezeket az eredményeket később összevetettem egy rugózott felfüggesztés esetén kapott értékekkel. A vizsgálatok során a Simcenter AMESim program segítségével definiáltam egy Gokartok által használt jellegzetes pályát, melyen a két esetben a többi változótól függetlenül vizsgálható a jármű viselkedése. Mivel jelen esetben a merev felfüggesztés az elterjedt, ezért ezt tekintettem kiindulási alapnak és ehhez hasonlítottam a rugózott változatot, valamint csak az utóbbi esetén vizsgáltam meg, milyen hatással van a futóműgeometria változtatása a menettulajdonságokra, és ezáltal a szimulált köridőre.

Dolgozatomban a diplomamunkámhoz kapcsolódó gokart vizsgálatát végzem el. Ehhez a BME Go-Kart, Go-Bosch! csapata rendelkezésemre bocsátotta az általuk használt gokartot. Ők a

korábban említett versenyre sikerrel alakították át a gokartot hibrid hajtásláncúvá, valamint később önvezetővé. Diplomamunkám során ennek a gokartnak vizsgálok, illetve fejlesztem a hajtásláncát, ugyanakkor az ehhez használt programmal (AMESim) való ismerkedés során, merült fel, hogy mivel a program képes több-test dinamikai vizsgálatokra, így érdemes lenne ezt kihasználva megvizsgálni a gokart felfüggesztését. Ez adta tehát az alapot a munkám megkezdéséhez, és dolgozatom megírásához.

II. Szakirodalmi áttekintés ^{[1] [2] [3]}

„A futómű fogalmi elnevezés alatt a gépjárműtechnikai szakirodalomban különböző meghatározásokat találunk. A kontinentális európai szakirodalom leggyakrabban a futómű, mint önálló járműrendszer alatt a komplett kerékből, a kerékfelfüggesztésből és a rugózásból álló alkatrészcsoportot érti. Az angolszász és a japán szakirodalom viszont tágabban értelmezi a futóművet: a komplett kerék, a felfüggesztés, a rugózás mellé sorolja a kormányzást és a fékezést is. A komplett járműrendszereket vagy az egyes alkatrészeket gyártó vállalatokat áttekintve nagyon vegyes a paletta. Például a legismertebb világceg, a német ZF együtt fejleszti és gyártja a jármű futóműveket és a kormányrendszereket, a Thyssen-Krupp kormányrendszereket gyárt, a magyar RÁBA futómű gyártó a haszonjárművek első és hátsó tengelyeire koncentrál.

A kerékfelfüggesztés valósítja meg a kapcsolatot a kocsiszekrény és a kerék között. A kerék pontos vezetését végzi, miközben a könnyű és kifogástalan kormányozhatóságot biztosít és elszigeteli a kocsiszekrénytől a gördülési zajt. Előre meghatározott kerék elmozdulásokat tesz lehetővé, és erőátadást biztosít a kerék és felépítmény között. Kedvező, ha a futómű kis helyigényű és kis tömegű.

A kerék függőleges elmozdulásaival igyekszik kiegyenlíteni az útfelület egyenetlenségeit. Emellett más irányú elmozdulásokat és elfordulásokat is végez. A keréken menetközben ébredő erőket átadja a kocsiszekrénynek. Személygépkocsiknál általában a lengőkarokat, lengőrudakat nem közvetlenül a kocsiszekrényhez, hanem egy futómű testhez, a bölcshöz, segédvázhoz rögzítik. Ez megkönnyíti a szalagon történő szerelést, az előzetes beállítást és később a javítást is. Kedvező a passzív biztonság és a zajszigetelés miatt is.

Az első és a hátsó kerékfelfüggesztéseknél különböző irányú rudakat, lengőkarokat, gömbcsuklókat, gumiperselyeket és szilentblokkokat alkalmaznak. Az útfelület és a kerék között keletkező erőknek megfelelően a kerekeknél különböző geometriai beállítást kell megvalósítani. Az első kerekek kormányozottak, ezért egy térbeli ferde tengely körül, a függőcsap körül elfordíthatók.

A dolgozat ugyanakkor nem hagyományos személygépkocsi felfüggesztését vizsgálja, hanem egy Go kartét. Ennek megfelelően funkcióját tekintve ugyan megegyezik a fent bemutatottakkal, viszont kialakítását tekintve jelentős eltéréseket mutat.

Mivel a dolgozat egyik későbbi fejezete (3.3.1. és 3.3.2.) foglalkozik a rugózott és nem rugózott felfüggesztések összehasonlításával is így mindenképpen szükséges a leginkább elterjedt felfüggesztés típusokat ismertetnem. A fejezet végén pedig kiválasztom a vizsgálat során használt rugózott konstrukciót.

A továbbiakban ismertetem a futóművek esetén állítható paramétereket, melyekkel a jármű menettulajdonságai befolyásolhatók. Emellett bemutatok néhány konkrét típust is melyek elterjedtek a hétköznapi gyakorlatban is. Ezt a bemutatót a teljesség igénye nélkül, csak a dolgozat szempontjából érdekes típusokra teszem meg.”

2.1. Futóművek állíthatósági lehetőségei

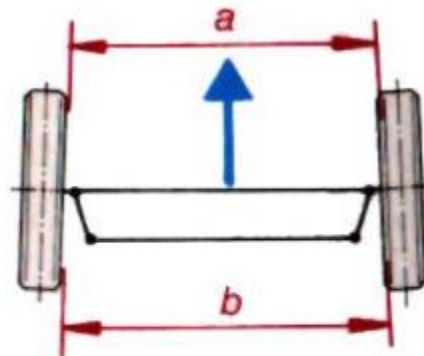
2.1.1. Kerékösszetartás (δ)

„A kerekenkénti összetartás felülnézetben a gépkocsi hosszanti szimmetriatengelye és a kerék középsíkja által bezárt szöggént értelmezhető. Pozitívnak tekintjük, amikor a keréktárcsák pereme elöl egymáshoz közelebb van, mint hátul. Az első kerék hajtású gépkocsiknál általában az első kerekek egymástól széttartanak. A kerékdőlés és a kerekek összetartása egymással összefüggő geometriai beállítási helyzet.

A kerék felfekvő felületének középpontjában ébred a vonóerő. A kormánylegördülési sugár tekinthető erőkarnak. Ez a kettő együtt nyomatékokat alkot, ami a kerekeket egymástól szétfordítani igyekszik. Ezen hatások következtében és a meglévő illesztési hézagok miatt, az egymással párhuzamosan beállított kerekek szitálnának és rádióznának, ezzel pedig nehezítenék a kormányzást, valamint a kerekeket egymással összekötő rudazat elemeit mechanikailag folyamatosan és periodikusan terhelnék. Ezeknek a hatásoknak az ellensúlyozására a gyártó által megadott összetartást kell beállítani. Ezzel megnő a visszatérítő nyomaték és a menetstabilitás. A túl nagy összetartás viszont fokozott gumikopást és nagyobb gördülési ellenállást eredményez.”

„A hajtott első keréknél az összetartás kompenzálja az elasztó-kinematikus felfüggesztés miatt fellépő nyomtáv változást is.

A kerékösszetartás szokásos értéke hátsókerék hajtású gépkocsiknál általában 5-20 szögperc, első kerék hajtás esetén –20 szögperc (ez ellensúlyozza a vonóerő hatását).’’

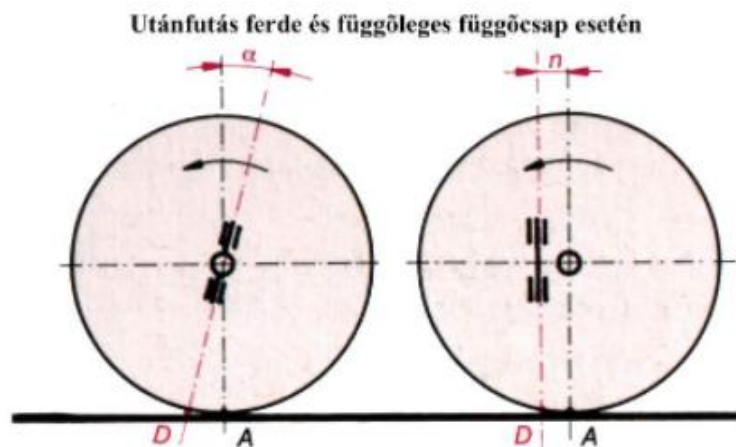


Összetartás $a < b$

2.1.ábra - A kerékösszetartás [2]

2.1.2 Utánfutás (n , τ)

„Az utánfutás mm-ben megadott távolság (n), mely a függőcsap irányának útfelülettel alkotott dőléspontja és a kerék felfekvő felületének középpontja között oldalnézetben mérhető. Hozzájárul a kerekek egyenes meneti helyzetbe történő visszaállításához, befolyásolja az elkormányzáshoz szükséges nyomatékot, valamint stabilizálja az egyenes meneti kerékhelyzetet. Nem csak mm-ben hanem szöghelyzetként fokban is megadható (τ). Oldalnézetben a függőcsap középvonala és a függőleges között bezárt szög. Értéke általában 1-5° közötti tartományba esik.”



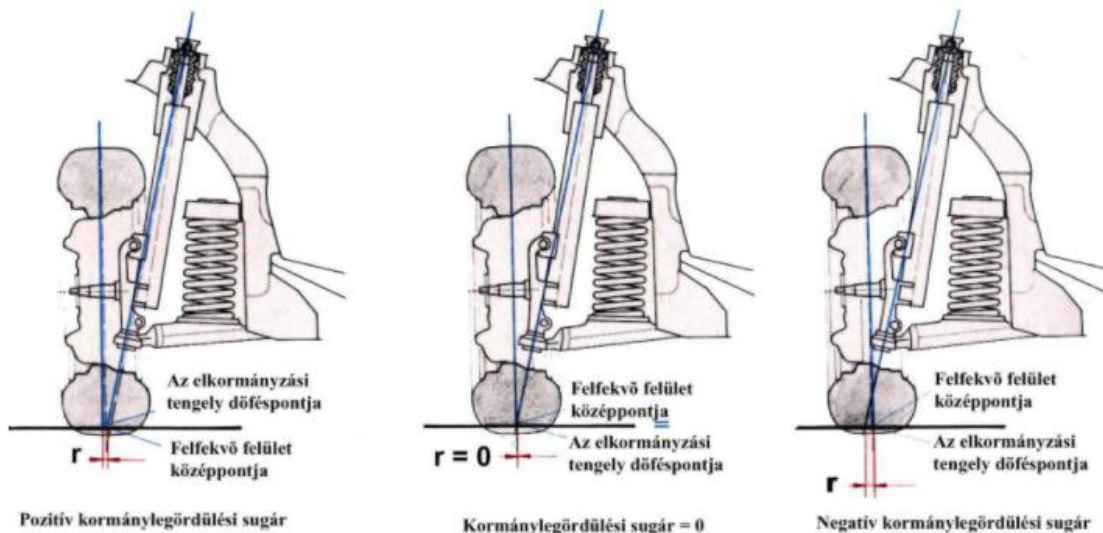
2.2.ábra - Az utánfutás ferde és függőleges függőcsapnál [2]

2.1.3 A zavaró erő karja (r_{St})

„A zavaró erő karja a kerék középpontja és a függőcsap iránya között mérhető legrövidebb, azaz merőleges távolság. Nagysága meghatározza az első kerék hajtású gépkocsinál a vonóerő hatását a kormányzásra, illetve hátsókerék hajtásúnál a gördülési ellenállás hatását a kormányzásra. Ez a kerékgeometriából adódó érték, külön nem állítható.”

2.1.4 Kormánylegördülési sugár (r_s)

„Az elkormányzási tengely (régebbi gépkocsinál ez a függőcsap iránya) útfelülettel alkotott döféspontja és a kerék felfekvési felületének középpontja között előlnézetben mérhető távolsága. Nagyságát a kerékdőlés és a csapterpesztés beállított értéke határozza meg. Negatív kormánylegördülési sugárról beszélünk, ha az elkormányzási tengely döféspontja a kerék felfekvő felület középpontjától kijebb esik. A fékerő és a vonóerő ezen a karon keresztül hatást gyakorol a kormányzásra. Fékezés közben eltérő tapadási tényező esetén a kormányzásra stabilizáló nyomatékként hat, megakadályozza a gépkocsi kitörését. A pozitív kormánylegördülési sugár ezzel ellentétes hatást fejt ki. Értékét különösen a nem szervokormányos futóműveknél igyekeznek minél kisebb értéken tartani, hogy mérséklődjön a zavaró erő hatása és minél könnyebb legyen a kormányzás. Ha értéke nulla, akkor szinte ellenállás nélkül lehetne forgatni a kormánykereket. Az ötvenes években alkalmazott 50-60 mm-es kormánylegördülési sugár a hatvanas években már 30 mm-re csökkent és ez a tendencia napjainkig tovább folytatódik.”



2.3. ábra - Különböző kormánylegördülési sugár kialakítások [2]

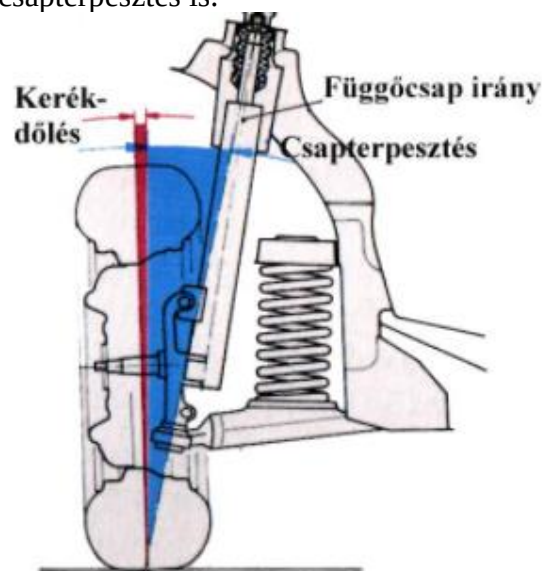
2.1.5 Kerékdőlés (γ)

„Előlnézetben a kerék síkjának dőlése a függőlegeshez képest. Negatív értékű, ha a kerék síkja felül közelebb van a gépkocsi hosszanti szimmetriatengelyéhez. Befolyásolja a kerék oldalvezetését. A gumibroncsról függően értéke kicsi (-3° és 0° közötti) azért, hogy ne okozzon a gumibroncs futófelületének egyik oldalán intenzívebb elhasználódását.

A pozitív kerékdőlés esetén a kerékre egy tengely irányú erőkomponens hat, amely a kerékanyát tehermentesíti és a csapágyhézagot kiküszöböli. A kerék szítálási hajlama ellen hat, amit a kisebb útegyenetlenségek gerjesztenek olyankor, amikor még nem történik berugózás. Ilyenkor a kerék függőcsap körüli lengéseket végez. A kerékdőlés értékét a csapterpesztéssel összhangban állapítják meg.”

2.1.6 Csapterpesztés (σ)

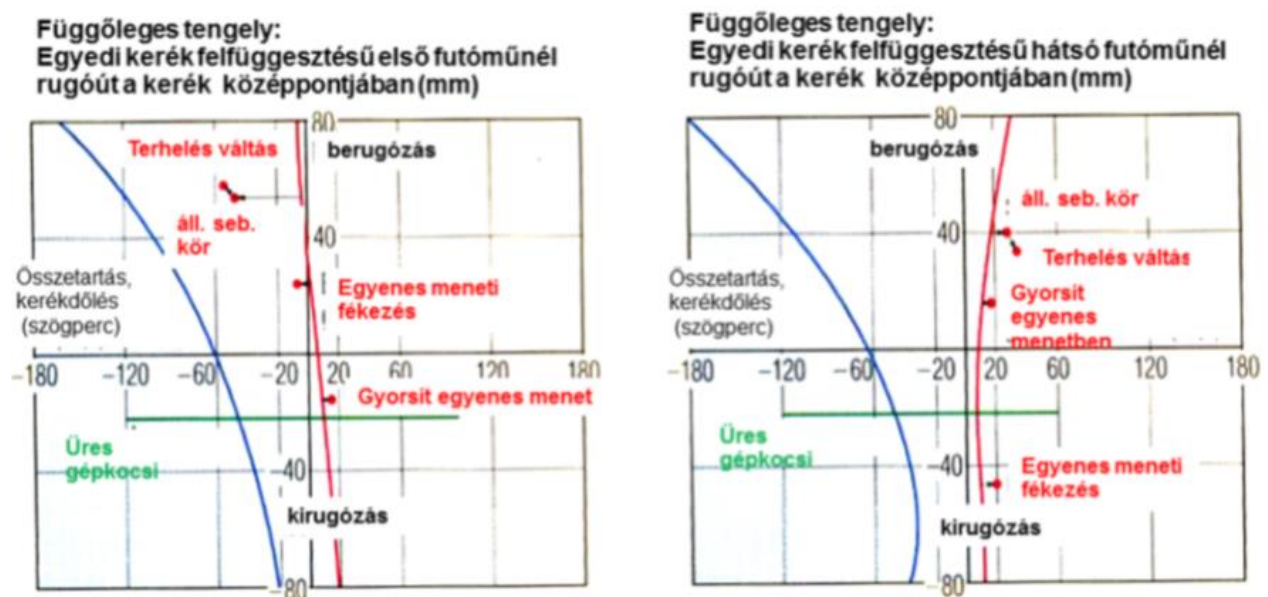
„Az elkormányzási tengely (korszerű gépkocsiknál ez a függőcsap iránya) és a gépkocsi hosszanti középsíkja által bezárt szög. Befolyásolja a kormányzáshoz szükséges nyomatékot. Értéke $2-8^\circ$ közötti. Ennek hatására a kerék elkormányzásakor kissé megemeli a kocsiszekrényt és így visszatérítő erő keletkezik. Ez a kereket egyenes meneti helyzetbe igyekszik visszaállítani. A kerékdőlés és a csapterpesztés összege állandó érték marad. Ha állítjuk a kerékdőlést, ugyanennyivel állítódik a csapterpesztés is.”



2.4. ábra - kerékdőlés és csapterpesztés szögeinek összege állandó. [2]

Az összetartás és a kerékdőlés változása

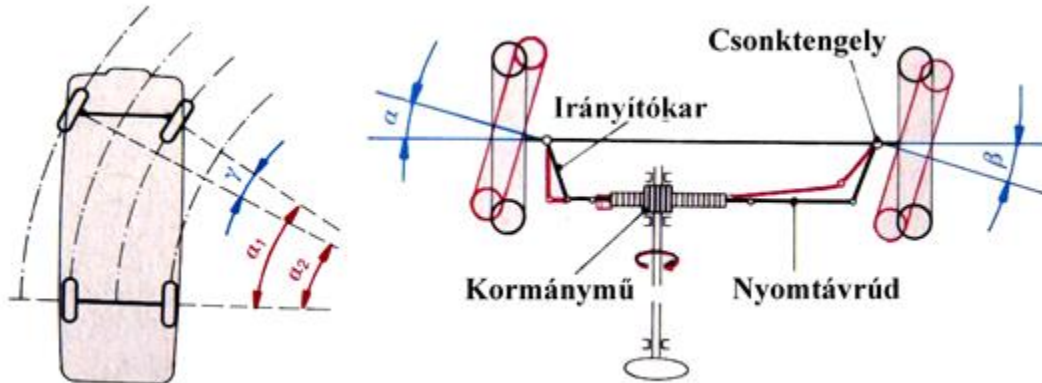
„Az összetartás és a kerékdőlés értékei egy adott futóműnél egymással összhangban kell legyenek. Pozitív kerékdőléshez pozitív összetartás tartozik. Menet közben a futóművek ki-, illetve berugózáskor és a terhelésváltozás hatására a kerekre különböző erők hatnak. Ezért az alábbi diagram szerint változnak az összetartás és a kerékdőlés értékei. Ez egy általános esetnek tekinthető, de valóságban az értékek a futómű konstrukciójától függenek”.



2.5. ábra - Összetartás és kerékdőlés változása a terhelés és a menetviszonyok függvényében
piros – összetartás, kék - kerékdőlés. [2]

2.1.7 Kanyarodási szögeltérés

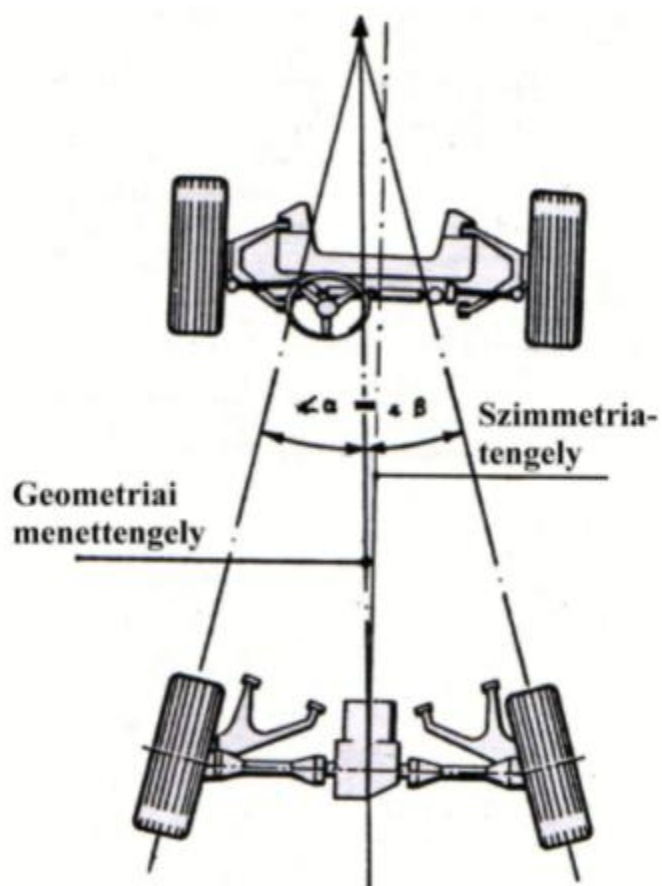
„A gömbcsuklókkal összekötött, trapéz alakú nyomtávrudazat létesít kapcsolatot a bal és jobb oldali első kerekek között. Független kerékfelfüggesztésnél ez osztott kivitelű, több tagból áll. Lehetővé teszi, hogy elkormányzáskor a kanyarodási középpontnak megfelelően a belső íven futó kerék elfordítása nagyobb legyen, mint a külső íven haladóé. 20° -os elkormányzásnál a kanyarodási szögeltérés értéke 3° .”



2.6. ábra - a különböző sugarú körökön gördülő kerekek eltérő elkormányzást igényelnek [2]

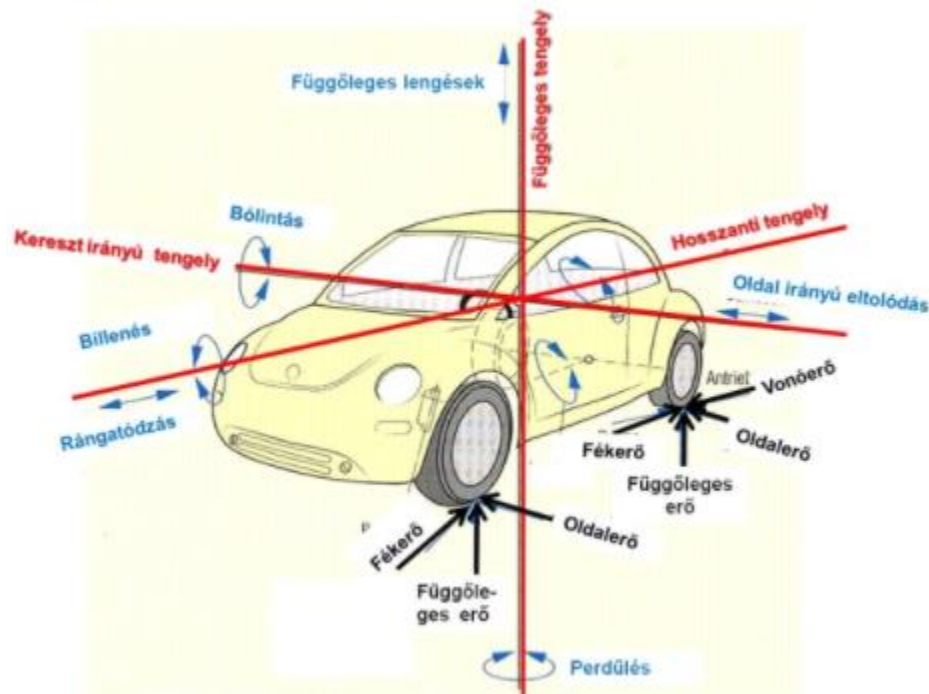
2.1.8 A gépkocsi tényleges haladási iránya, vagy geometriai menettengely

„A gépkocsi tényleges haladási irányát a hátsó kerekek összetartásának szögfelezője határozza meg. Ha ez nem esik egybe a kocsiszekrény hossz tengelyével egyenesen haladva állandó ellenkormányzás szükséges. A megengedhető eltérés $\pm 15'$. Ez egyszerű módon négy mérőfejes futómű vizsgáló berendezéssel mérhető ki. Ha a rossz beállítás miatt szükségessé válik a korrekció, először a hátsó futómű ferde helyzetét kell megszüntetni és utána állítható be az első futómű. Ha valami miatt nem lehetséges a hátsó futómű visszaállítása, a tényleges menethelyzethez viszonyítva kell az első futóművet beállítani.”



2.7. ábra - a gépkocsi geometriai menettengelye és a szimmetria tengely egymástól eltér. [2]

2.1.9 A futóműveket terhelő erők



2.8. ábra. A gépkocsira menet közben ható erők, hatásukra létrejövő elmozdulások és elfordulások [1]

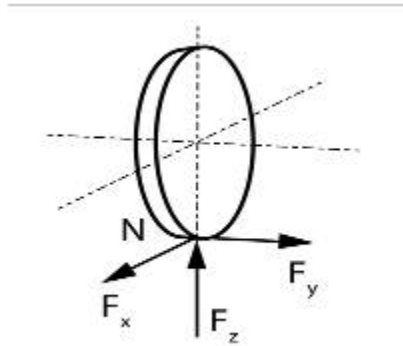
„A jármű kerekeire menet közben különböző erők hatnak. Ilyenek:

- a jármű tömegéből adódó súlyerő (G_i),
- a járműre ható légellenállásból adódó függőleges leszorító vagy felhajtó erő (F_{WZ}),
- a jármű lassításához, megállításához szükséges fékezőerő (F_F),
- a jármű haladásához, gyorsulásához szükséges vonóerő (F),
- a jármű kanyarodásakor fellépő oldalerő (F_S).

Ezek az erők a gumibroncs érintkezési felületén koncentrálódnak és a gumibroncs és az útfelület közti tapadási viszonyoktól függően adódnak át az útra (2.8. ábra). Ha a tapadásból adódó erők nagyobbak a jelentkező aktív erőknél, akkor a jármű fékezhető, gyorsítható, kormányozható, vagyis a jármű menetstabilitása megfelelő. Ellenkező esetben a kerekek megcsúsznak, blokkolnak,

kipörögnek, vagyis a jármű elveszti stabilitását. Tehát a gumibroncs és az útfelület közti tapadási erők természetes korlátai a jármű dinamikus mozgásának.”

„A tapadási erő meghatározható a kereket az útra szorító erő és a tapadási viszonyokat minősítő tényező ismeretében.”



2.9. ábra. Kerék talppontjában ébredő erők. [3]

ahol:

- F_z – a kereket leszorító tényleges erő,
- F_x – a jármű menetirányába eső tapadási erő (itt hat F és FF),
- F_y – a jármű oldalirányába eső tapadási erő (itt lép fel F_s),
- ϕ_x – a hosszirányú tapadási tényező,
- ϕ_y – a keresztirányú tapadási tényező,
- N – a kerék talppontja.

„A látszólag egyszerű egyenlet a jármű dinamikus mozgása során igen bonyolulttá válik. A kereket az út felületéhez szorító erő állandóan változik a rugózás, a felépítmény billegő, bólintó mozgása, a menet és az oldalszél következtében fellépő átterhelődések miatt (2.8. ábra):”

$$F_{zi} = Z_{sti} \pm \Delta Z_R \pm \Delta Z_W \pm \Delta Z_1 \pm \Delta Z_2 \pm \Delta Z_3 \pm \Delta Z_4 \quad (2.1.)$$

ahol

- Fzi– az egy kerékre ható tényleges, dinamikus leszorító erő;
- Zsti– egy kerék statikus terhelése a jármű álló helyzetében;
- ΔZR – a kerék és a felépítmény rugózásaiból adódó kerékterhelés változás;
- ΔZW – a menet – és oldalszél hatására fellépő kerékterhelés változás;
- ΔZl – a járműre ható oldalerő hatására bekövetkező kerékterhelés változás.

2.2. Merev felfüggesztések [5]



2.10.ábra A gokartokra jellemző kerékelemelés [4]

Kerékelemelés

A súlypont áthelyeződés miatti kerékelemelés az utánfutási szöggel és a királycsap dőlésszögével áll összefüggésben, szabályozza a ívbelső hátsó kerék elfordulásának és a talajról való felemelkedésének képességét, attól függően, hogy melyik irányba kormányozzuk a járművet. A merev hátsó tengely miatt a kerekek ugyanolyan sebességgel forognak, ezért a belső hátsó keréknek el kell emelkednie a talajról, ami lehetővé teszi, hogy a gokart képes legyen a hátsó kerekek kipörgése nélkül kanyarodni.

Mint minden versenyautó esetében, a helyesen és pontosan beállított elülső geometria elengedhetetlen ahhoz, hogy a legtöbbet hozzuk ki a gokartból. A kezelhetőséget, a tapadást, a gumiabroncsok kopását és még a gyorsulást is hátrányosan befolyásolhatják a rossz beállítások, amelyeket a gondatlanság, a sérült/kopott alkatrészek, és leggyakrabban a pontatlan vagy nem megfelelő beállítási módszerek vagy technika okozhat.

Annak ellenére, hogy mindkettőnek négy kereke van, a gokartok alváza meglehetősen különbözik az autók alvázától (a gokartok alváza gyakorlatilag maga alkotja a "felfüggesztő" elemeket és a "rugókat", nagyon nagy a nyomtáv és a tengelytáv aránya, és teljesen hiányzik a differenciálmű). Emiatt a gokartok kormánygeometriájának beállításai is eltérőek kell, hogy legyenek ahhoz, hogy a gokart megfelelően kormányozható és kezelhető legyen. A gokartok ugyanazokkal a kormánygeometriákkal rendelkeznek, mint az autók, de ehhez képest a gokartok néhány beállítása kissé eltúlzott. A gokartok merev hátsó tengelye (differenciálmű nélkül) és a viszonylag széles pályához viszonyított nagyon rövid tengelytáv kombinációja különleges problémákat okoz a gokartok elülső futóműgeometriája számára.

Az autókhoz (közúti vagy versenyautókhoz) hasonló geometria beállításokkal rendelkező gokartok a kanyarban való bekanyarodás pillanatában súlyos alulkormányozottságtól szenvednének. Ez azért alakul ki, mert a hátsó gumiabroncsok (amelyek a tengely által össze vannak kötve, és nem tudnak különböző fordulatszámmal forogni) együttes tapadása egyszerűen egyenesen előre nyomná az első kerekeket. Ez azért történhet meg, mert:

- A hátsó gumiabroncsok lényegesen szélesebbek, mint az első abroncsok (nagyobb a tapadó felület).
- A hátsó nyomtáv általában jelentősen szélesebb, mint az első nyomtáv (ami növeli a hátsó stabilitást).
- A gokart súlya jelentősen hátrafelé tolódik (a hátsó gumiabroncsokat jobban terheli).
- A rövid tengelytáv csökkenti az elülső gumiabroncsok erőkarját a hátsó gumiabroncsokkal szemben.

E probléma megoldására a gokartok kormánygeometriája úgy van kialakítva, hogy a kanyarban az ívbelső első kereket leengedje, az ívkülső első kereket pedig megemelve (a hátsó tengelyhez képest). Ez az első kerék magasságának változása sokkal nagyobb az ívbelső első keréknél, mint az ívkülső első keréknél (azaz az ívbelső első kerék sokkal jobban leenged, mint amennyit az

ívkülső első kerék megemelkedik). Emiatt a gokart belső hátsó gumibroncsának kanyarban történő tehermentesítéséhez szükséges "kerékelemelkedési" hatás a kanyarban való bekanyarodáskor főként az ívbelső első kerék süllyesztésével jön létre.

Az első kerék magasságának változása (az elkormányzási szöggel együtt) súlypontáthelyeződést ("kerékelemelkedést") okoz az ívkülső első és ívbelső hátsó kerekekről az ívkülső hátsó és ívbelső első kerekre. Ez a hatás mechanikusan elemeli (tehermentesíti) a belső hátsó kereket a pálya felületéről (vagy majdnem elemeli) a bekanyarodás pillanatában. Amint a gokart ténylegesen befordul a kanyarba, ez a mechanikus súlyáthelyezés kevésbé meghatározó (sőt, a kanyar további részében akár hátrányos is lehet), és nagyrészt a G-erők (azaz a hossz-, és oldalirányú gyorsulások és a centripetális erő) által okozott súlypontáthelyeződést váltja fel. Az ívbelső első gumibroncsra történő mechanikus súlypontáthelyeződés miatt az első tapadás nagy része a bekanyarodás pillanatában az ívbelső első gumibroncsról származik, azonban nagyobb oldalirányú G-erőknél (azaz a kanyar közepe és a kanyarkijárat felé) az első tapadás nagy része az ívkülső első gumibroncsról származik.

A gokartoknál szinte minden kormányzási geometriaszöveget és beállítást úgy terveztek, hogy a beforduláskor az ívbelső hátsó gumibroncs tehermentesedjen. Annál a gokartnál, amelyiknél ez nem eléggé vagy túlzottan jelentkezik, nem lesz jól kezelhető. A bekanyarodás pillanatától a kanyar közepéig a gokartnak gyakorlatilag háromkerekű járművé kell válnia. Ezt az állapotot addig kell fenntartani, amíg a gokart ki nem lép a kanyarból, amikor az ívbelső hátsó gumibroncsot fokozatosan újra terhelés alá kell helyezni, ahogy a kanyar véget ér. Ha a belső hátsó kerék a bekanyarodáskor nem terhelődik le eléggé, akkor az első kerék csúszni fog (szó szerint "tolja" az hátsó tapadás). Ezután lehet, hogy:

- A gokart folytatja az alulkormányozottságot a kanyar hátralévő részében, vagy
- Hirtelen betapad elöl, aminek következtében a gokart nagyon hirtelen irányt változtat, és a hátsó kerekek megcsúsznak.

Ez lehet az egyik legnehezebben lereagálható kezelhetőségi probléma, és gyakran összekeverik a hátsó tapadás problémájával, mivel a hátsó kerekek csúszása lehet a domináns érzés (a kezdeti alulkormányozottság gyakran csak egy-két pillanatig tart). Ha az ívbelső hátsó kerekek túlságosan megemelkednek, a gokart rángathat, és nehéz egyenletesen vezetni. Ennek a kezdeti mechanikus súlypontáthelyeződésnek a helyes beállítása az egyik legfontosabb tényező a futómű hangolásában,

és leginkább a függvénye a helyes első futómű beállításoknak és az első-hátsó súlyelosztásnak. Fontos megjegyezni ugyanakkor, hogy ha túl finoman kezdjük meg a kanyarodást, akkor nem történik meg a kerék elemeléséhez szükséges súlypontáthelyeződés és a gokart alulkormányozott lesz.

A gokart specifikus futóműparamétereket és hatásukat a következő bekezdésekben ismertetem.

Kerékösszetartás

A pozitív kerékösszetartás hajlamosabbá teszi a gokartot a stabilitásra, de emiatt hozzájárulhat a rosszabb kanyarodási képességhez. A negatív kerékösszetartás a gokartot instabillá teheti (ami nem feltétlenül rossz dolog!), és segítheti a gokartot abban, hogy jól forduljon be a kanyarokban. A negatív kerékösszetartás esetén az ívbelső első kerék jobban lefelé mozog az alvázhoz képest, mint nulla kerékösszetartás vagy pozitív kerékösszetartás esetén. Ez azért van így, mert a kerékösszetartás némileg befolyásolja az Ackerman-geometriát, a negatív kerékösszetartás növeli az Ackerman-szöget, a pozitív kerékösszetartás pedig csökkenti azt (megváltoztatva a kormánykarok szögét).

A kerékösszetartás (akár pozitív, akár negatív) súrlódást okoz a gumibroncs érintkezési felületén. Ez a súrlódás hő termel a gumibroncsban (bizonyos körülmények között hozzájárul a túlmelegedéshez), és hozzájárulhat a túlzott kopáshoz. A kerékösszetartást a kormányösszekötő rudak hosszának változtatásával befolyásolhatjuk.

Kerékdőlés

A maximális tapadás érdekében kanyarodáskor (különösen a kanyar közepén) nagyon kívánatos, hogy a két külső gumibroncs gumijának minél nagyobb része legyen a pályán. A kerékdőlés az a beállítás, amely leginkább azért felelős, hogy a kanyarokban az első külső gumibroncsok maximális gumija az úton maradjon.

A kerékdőlés gördülési ellenállást is okozhat. Ez a döntött keréknek a dőlés irányába való gördülési tendenciája (mint egy kerékpárkeréknél). Például, ha feltételezzük, hogy két egyformán döntött kerék, amelyek mindegyike a dőlésszög irányába akar gurulni (de a kormánymű megakadályozza ebben), akkor mindkét kerék kénytelen egyenes vonalban gurulni, ami súrlódást okoz az érintkezési pontokon. A dőlésszög csökkentheti a gumibroncs érintkezési felületének méretét azáltal, hogy

az egyik oldalt jobban terheli, mint a másikat. Ez csökkentheti a tapadást, növelheti a hőmérsékletet, fokozhatja a kopást, és lerövidítheti a gumibroncs versenyképességét és teljes élettartamát.

Utánfutási szög

A királycsapok dőlése (KPI) a legtöbb gokartnál nagyobb, mint a legtöbb autónál, és a királycsapok befelé dőlését jelenti (felfelé, a gokart középvonala felé). A KPI okozza a kormányzás önközpontosító hatásának egy részét, és módosítja a kormány elfordításakor a kerékdőlés által okozott dőlésszög-változás mértékét (csökkenti a negatív dőlésszög-növekedést az ív külső első keréknél és növeli a pozitív dőlésszög-növekedést az ívbelső első keréknél). A KPI okozza azt is, hogy a kerekek ívben emelkednek és süllyednek, nem pedig egyenes (de szögletes) vonalban, ahogyan az a KPI nélkül történne. Szokatlan lenne magát a KPI-t szándékosan megváltoztatni, de a kerékdőléssel együtt beállítható. A KPI megváltoztatása a dőlésszöget is megváltoztatja, és megváltoztathatja a futóművet is. Ez a beállítás pontos jellegétől függ, egyes KPI-beállítások nem változtatják meg az utánfutás szögét, pl. a maximális KPI-ról a minimális KPI-re, amíg az utánfutás a középső beállítási értéken van. Ez a KPI-t nem befolyásoló futóműbeállításokra is igaz.

Az utánfutási szög a királycsap előre/hátra dőlése. Ez az egyik olyan geometria, amelynek egy gokartnál lényegesen nagyobbak kell lennie, mint egy autónál. Minden gokartnak "pozitív" utánfutási szöge van, amikor a királycsap felső része közelebb van a gokart hátsó részéhez, mint a csap alsó része. A utánfutási szög felelős a kormányzás "önközpontosító" hatásának nagy részéért, és ez az egyik azon két geometria közül, amely az első kerekek magasságának változását okozza, amikor a kormánykereket elfordítjuk. Minél nagyobb az utánfutási szög, annál nagyobb az első kerekek magasságának változása.

Az utánfutási szög szerencsétlen mellékhatása, hogy a kormány elfordításakor a kerékdőlés is megváltozik, ami a külső első keréknél negatív, a belső első keréknél pedig pozitív kerékdőlés növekedést eredményez.

Kormánylegördülési sugár

A kormánylegördülési sugár egy másik "eltúlzott" elülső geometria beállítás a gokarton, és a futófelület közepétől (a talaj szintjén) a pontig mért távolság, ahol a királycsap tengelyén keresztül húzott vonal metszi a talajt. A kormánylegördülési sugár kéz a kézben működik az utánfutási

szóggel, hogy az első kerekek magasságát a kormány elfordításakor megváltoztassa. Minél nagyobb a kormánylegördülési sugár, annál nagyobb az első kerék magasságának változása.

A kormánylegördülési sugár növelése az első nyomtávot is szélesíti. Ez a nyomtáv-növekedés hatékonyan lágyítja a futómű első részét, csökkenti a "dinamikus" súlypontáthelyeződést (a G-erők miatti súlypontáthelyeződést) az ívkülső első kerékre, és általában növeli az első tapadást (azáltal, hogy a kanyarodás után több súly nehezedik az ívbelső első kerékre). A kormánylegördülési sugár a tengelycsonkokon lévő nyomtáválítókkal lehet beállítani.

A gokartok sokkal jobban kihasználják az Ackerman-geometriát, mint szinte bármely más járműtípus, és ezt elsősorban más célokra használják, mint egy autó esetében. Az autók az Ackerman-geometriát a gumiabroncsok súrlódásának minimalizálására használják, amikor a jármű kanyarodik (a külső első keréknek nagyobb sugarú körben kell elfordulnia, mint a belső elsőnek). A gokartok (többnyire) az Ackerman-hatást (az utánfutási szökkal és a legördülési sugárral együtt) arra használják, hogy növeljék a belső első kerék lefelé irányuló mozgását (azáltal, hogy lényegesen nagyobb mértékben fordul el, mint a külső első kerék), hogy a belső hátsó kerék a kanyarban tehermentesüljön. Egyes gokartoknál az Ackerman állítható, ami különböző hosszúságú összekötő rudak használatával és a kormánykar és/vagy a Pitman-kar különböző furataiba történő rögzítésével jár.

A "valódi" Ackermann-geometriát a királycsapok helyzete és a kormányösszekötő rúd helyzete közötti kapcsolat biztosítja.

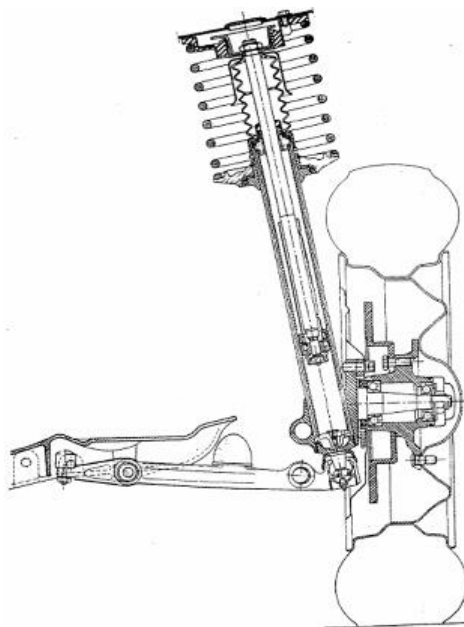
A legtöbb gokart az esetek többségében jobban kezelhető és gyorsítható abszolút nullára állított kerékösszetartással, olyan körülmények között, amelyben versenyeznek. Meg kell érteni, hogy a kerékösszetartás (általában) és a kerékdőlés (soha) nem marad változatlan, amikor a vezető súlya a gokartba kerül. Néha enyhe negatív kerékösszetartás segíti a kanyarokba való bekanyarodást, de ritkán többel, mint két milliméternél (kivéve nedves körülmények között, amikor a nagyobb negatív kerékösszetartás beállítása hasznos lehet). A dőlésszög nullára állítása szinte mindig a legjobb kiindulási pont, és a finomhangolás a gumiabroncsok kopása vagy a gumiabroncsok futófelületének hőmérséklete alapján történhet.

2.3. Rugózott felfüggesztések

A következő pontban mutatom be a leginkább elterjedt futóműtípusokat. Ezeken kívül természetesen még léteznek más típusok is, ugyanakkor a bonyolultságuk miatt eltekintettem vizsgálatuktól, hiszen a gokartok esetében a kompakt egyszerű futóművek jelentenek megfelelő megoldást.

2.1.2. McPherson-féle futómű

„Az első generációs, úgynevezett koncentrikus McPherson futómű az (2.11. ábra) ábrán látható.”



2.11. ábra - Peugeot első futómű [3]

„A McPherson – típusú futóművek fél évszázada a kis és közepes autók egyik leggyakoribb futóműve. A kerék tengelycsonkját alul gömbcsuklós hárompontos keresztirányú felfüggesztés, a tengelycsonk felső részét pedig a teleszkópos lengéscsillapító vezeti meg. A lengéscsillapító akkor tölti be ezt a szerepét, ha a csillapító hengere mereven kapcsolódik a tengelycsonkhoz (pl. két csavarral rögzítve vagy besajtolva) és a csillapító rúdját a támcsapágy révén a felépítményhez rögzítik.

A McPherson – típusú futóművek paraméterei csak részben felelnek meg a korszerű követelményeknek. A kerékdőlés változás az első futóműnél a nagyobb csaphátradőléssel és

nyomtávvaltoztatással valósítható meg, hátul csak nagyobb nyomtávvaltoztatás árán. Nagyarányú elterjedésének az oka egyszerű szerkezete, kis helyfoglalása, mely elsősorban az elől keresztben elhelyezett motorok számára előnyös. A korszerű McPherson futóművek excentrikus kialakításúak, ezeknél az alsó gömbcsukló nem a lengéscsillapító középvonalába esik, ezáltal az elkormányzási tengely terpesztése $15-18^\circ$ is lehet, ami az R_0 elkormányzási sugár negatív értékét eredményezi. Ez javítja a jármű iránytartását.

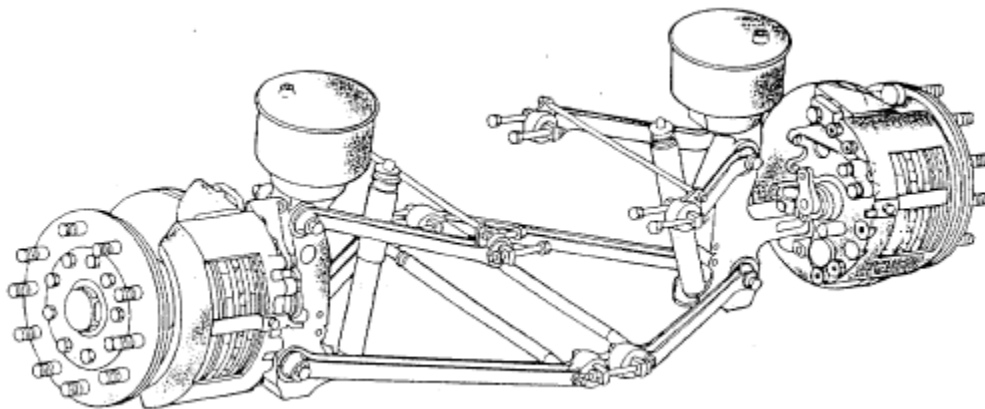
A különböző típusú McPherson futóművek elsősorban a tengelycsonk alsó bekötésének szerkezetében térnek el. A tengelycsonk alsó bekötésének a kerékmozgás szabadságfokai közül kettőt kell kényszerként megakadályozni, nevezetesen az x és y tengely irányú elmozdulásokat. Ilyen kényszer lehet szerkezetileg kialakítani hárompontos keresztirányú lengőkarral vagy két lengőrúddal kisebb személyautóknál egy rúddal és a keresztstabilizátor megfelelő csapágyazásával.) A keresztirányú lengőkar lehet háromszög alakú (Mercedes A osztály), lehet sarló alakú (Ford Focus)."

2.1.3. Kettős keresztlengőkaros futómű

„Háromszög – trapéz keresztlengőkaros futóműveknél a tengelycsonkon három csukló található. Az alsó és felső csuklóhoz kapcsolódnak a hárompontos keresztirányú felfüggesztő elemek, míg a középső csuklóhoz első futóműnél a nyomtávrúd, hátsó futóműveknél az önkormányzást szabályozó rúd vagy az összkérékkormányzású rendszer esetén a hátsó nyomtávrúd. A korszerű típusoknál a tengelycsonk felső nyúlványa egészen a gumibroncs fölé emelkedik. Ilyen konstrukció először a Mercedes 123 típusú személyautón jelent meg az 1970-es évek elején. A leggyakrabban alkalmazott futómű típus. A kis és közepes kategóriájú autóknál a McPherson típusú futómű versenytársa, a nagyobb kategóriájú gépkocsiknál, versenyautóknál, autóbuszoknál egyre szélesebb körben alkalmazzák. A felfüggesztés geometriai méreteinek helyes megválasztásával szinte valamennyi dinamikus paraméter kedvezően alakítható."

„A háromszög-trapéz keresztlengőkaros futóművek újabb speciális változata az úgynevezett kéttagú, kéttengelyű tengelycsonkos háromszög-trapéz keresztlengőkaros futómű. A tengelycsonk két részre tagolódik: a kerekeket a csapágyazással felfogó külső csonkrészre és a lengőkarok kiindul befogási csuklópontjait magukba foglaló csonkállványra. A két tagot egyszabadságfokú csuklómechanizmus kapcsolja össze, amely lehet ez függőcsapszeg vagy két gömbcsukló. Az

összekötő elem geometriai tengelye adja az első futóműnél az elkormányzás tengelyét. A csonkállványon lévő csuklók viszont a kerék ki-berugózásának tengelyét határozzák meg. Ennek a kéttengelyű megoldásnak az előnye megmutatkozik a kormányzási csapgeometriában, továbbá a lengőkarok variálható elhelyezésében. Ilyen szerkezeteknél az elkormányzás tengelyének geometriáját, vagyis a csapgeometriát optimálisan lehet kialakítani. Elsősorban a csapterpesztés (δ) és az elkormányzási sugár (R_0) kedvező értékre változtatható. A rugózás tengelyének kifelé döntésével a keresztlengőkarok kevésbé nyúlnak be a motor- illetve utastérbe. Ez a speciális konstrukció először a független felfüggesztésű lérugós autóbuszoknál jelent meg. (2.12. ábra) Itt a tengelycsonk két végét a függőcsapszeg köti össze, a kormányrendszer trapézkarja a külső csonkrészhez kapcsolódik. Így a kormánymechanizmus csak a külső tagot fordítja el a függőcsapszeg körül. A belső csonkállványon elegendő egyszabadságfokú csuklókat alkalmazni, miután ez a tag csak „z” irányú mozgást végez.”



2.12. ábra - VAN HOOL T9 típusú autóbusz első futóműve. [3]

Mivel ebben az esetben sokkal szabadabban és függetlenül állíthatók a futómű paraméterei, valamint a versenyszférában is ez az elterjedtebb, így a vizsgálatok során ez a típust elemzem rugózott felfüggesztésként.

III. A szimuláció ^[6]

„A Simcenter Amesim a vezető integrált, skálázható rendszerszimulációs platform, amely lehetővé teszi a rendszerszimulációs mérnökök számára a mechatronikai rendszerek teljesítményének virtuális értékelését és optimalizálását. Ez növeli az általános rendszertervezési termelékenységet a korai fejlesztési szakaszoktól a végső teljesítmény validálásáig és a szabályozások kalibrálásáig. A Simcenter Amesim egyesíti a használatra kész multifizikai könyvtárakat az alkalmazás- és iparorientált megoldásokkal, amelyeket a platform erőteljes képességei támogatnak, így gyorsan hozhat létre modelleket és végezhet pontos elemzéseket. Ez a nyílt környezet könnyen összekapcsolható a főbb számítógéppel segített mérnöki (CAE), számítógéppel segített tervezési (CAD) és vezérlő szoftvercsomagokkal.” [7]

3.1. A pályakövető modell bemutatása

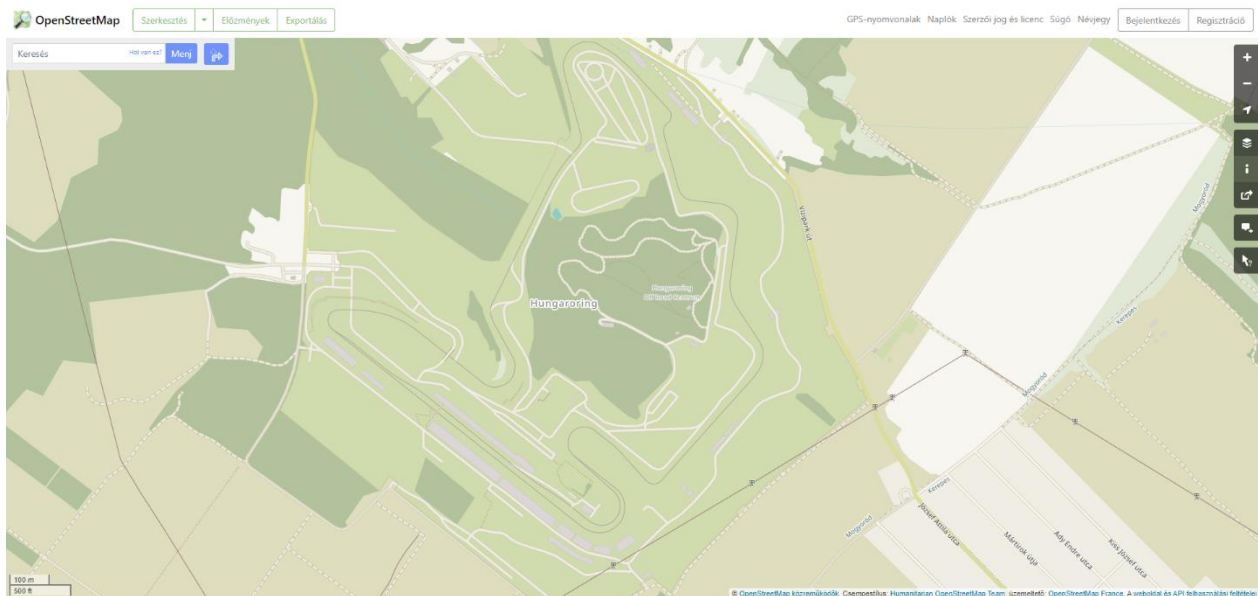
A dolgozatomban egyik alappillére a pályakövető modell felépítése, és ez alapján a választott jármű viselkedésének vizsgálata. Ugyan léteznek kifejezetten a köridőszimulációra készített programok, viszont ezek az egyszerűség, és a gyors lefutás miatt sok egyszerűsítéssel kell, hogy éljenek. Ezek az elhanyagolások igazolhatók, hiszen a versenysportok esetén nagyon szűk időkeret mellett kell becslést adniuk a mérnököknek arra, hogy az egyes paraméterek, hogyan befolyásolják a járművek menettulajdonságait.

A legtöbb köridőszimulációs program (Optimumlap, OpenLapSim) elhanyagolásként az egész járművet egy tömegpontként modellezi, amit kvázistatikus állapotban vizsgál. Ezzel a módszerrel matematikailag ugyan túlegyszerűsített lesz a modell, de a valóságban a globális trendeket kellő pontossággal mutatja meg. A járművek csupán néhány bemeneti adattal jellemezhetők, és szimulálhatók. Habár a modell a járművet egy tömegpontként kezeli, ezáltal a tranziens jelenségeket nem veszi figyelembe, a kanyarcúcsponthoz tartozó sebességekre, az egyenes végén csúcssebességekre, az energia szükségletre, és a teljes köridőre jó közelítést szolgáltat.

Esetemben ugyanakkor éppen ezek a tranziens jelenségek jelentik a felfüggesztés terheléseit, így nem tekinthetek el tőlük. Ennek megfelelően a korábban bemutatott programok esetében nem alkalmazhatók.

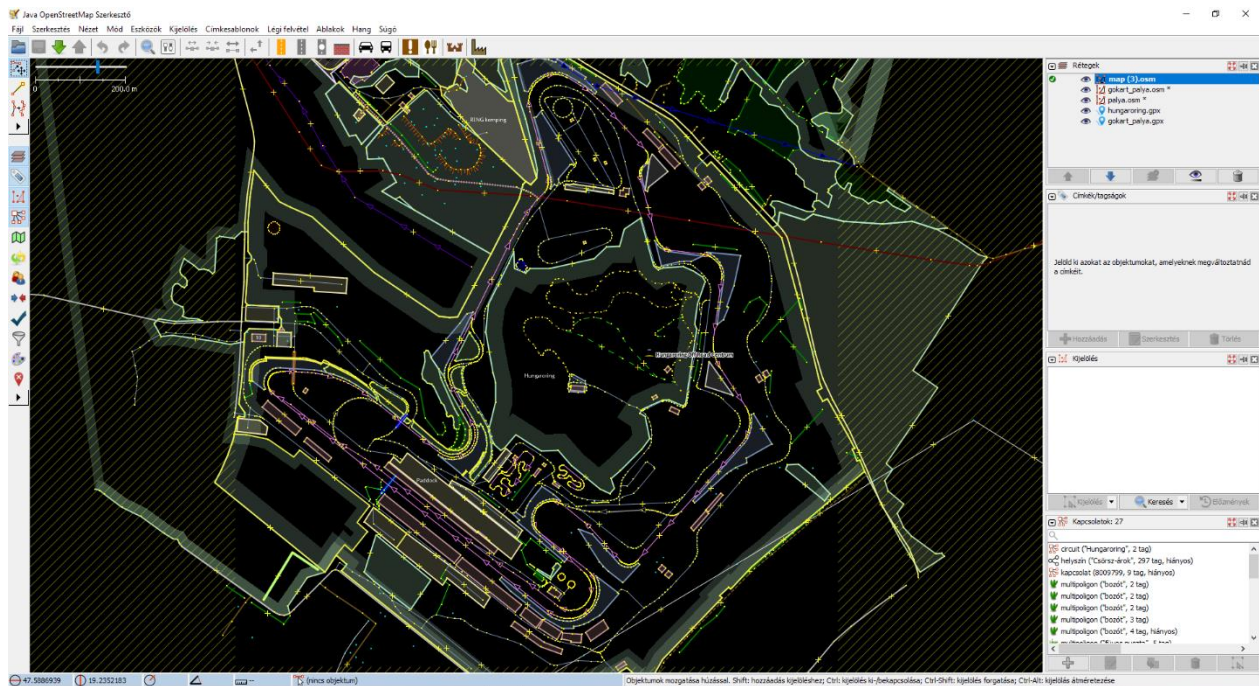
A pályakövető modell felépítése során az első lépés egy megfelelő pálya kiválasztása volt. Ez később kihatással van a továbbiakban nyilvánvalóan a terhelésre is, ennek megfelelően egy olyan pályát kellett választanom amely valóban tükrözi a gokartok által használt pályák jellegzetességeit, nevezetesen a sok egymásba fonódó kanyar és a viszonylag alacsony végsebesség. Ezeket szem előtt tartva a legkézenfekvőbb az volt, ha egy valós pályán vezetem végig a szimuláció során a járművet.

A következő lépésben kiválasztottam a végleges pályát. Ennek során egy, a Hungaroring mellett található pálya volt az, amely a leginkább megfelelt a fent említett kritériumoknak. Ezután szükséges volt a pálya adatait a program számára beolvasható állapotba hozni. Ehhez az OpenStreetMap weboldalon keresztül a pályát osm formátumba kellett kimentenem, melyet később szerkeszteni tudtam.



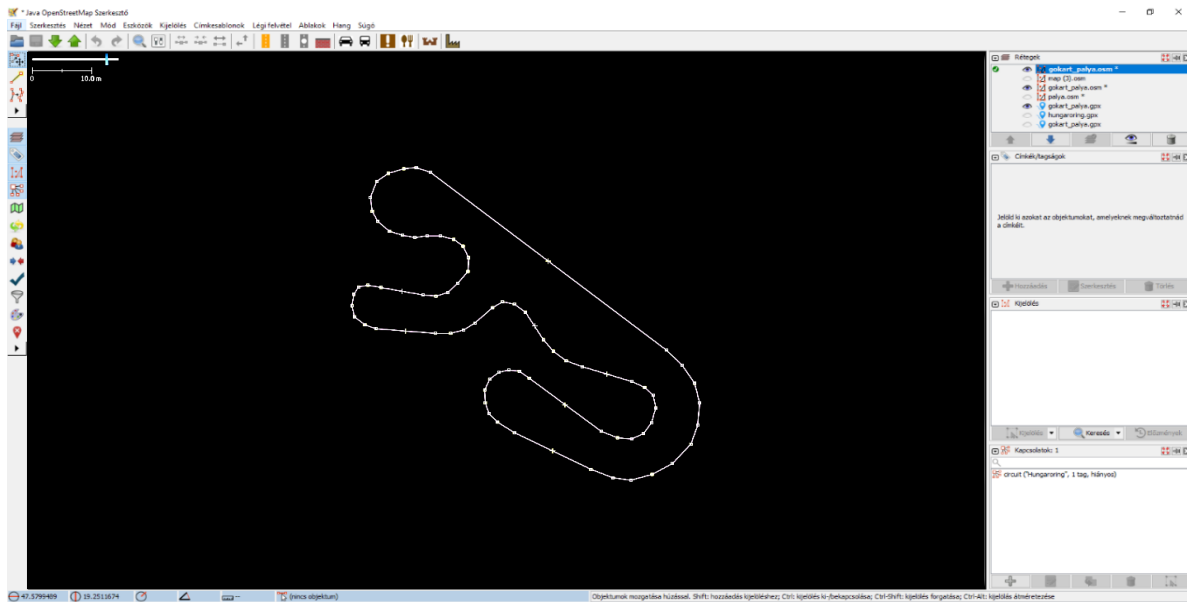
3.1..ábra A pálya környezetének felülnézete az OpenStreetMap weboldalon

Ezt követően a kimentett adatokat a kellő formátumban be tudtam olvasni egy JAVA környezetben fejlesztett OpenStreetMap szerkesztőbe. Ebben a programban szükséges volt eltávolítanom a számomra zavaró, felesleges adatokat. Ilyenek voltak a pálya generálásához nem használt utak, valamint a honlapon feltüntetett turistalátványosságok, és egyéb metaadatok. Itt kiemelném, hogy mivel a gokartpályák az esetek nagy részében nem rendelkeznek jelentős szintkülönbséggel (kivétel talán a fedett többszintes pályák, amelyek nem képezik ennek a dolgozatnak a részét), így a pályaadatoknál a magassági adat egy állandó értéket jelentett. Ezt már a munkám során itt, az első lépésnél, az exportálásnál, figyelembe vettem, így az adatsor módosításánál később ezzel nem kellett külön foglalkoznom.

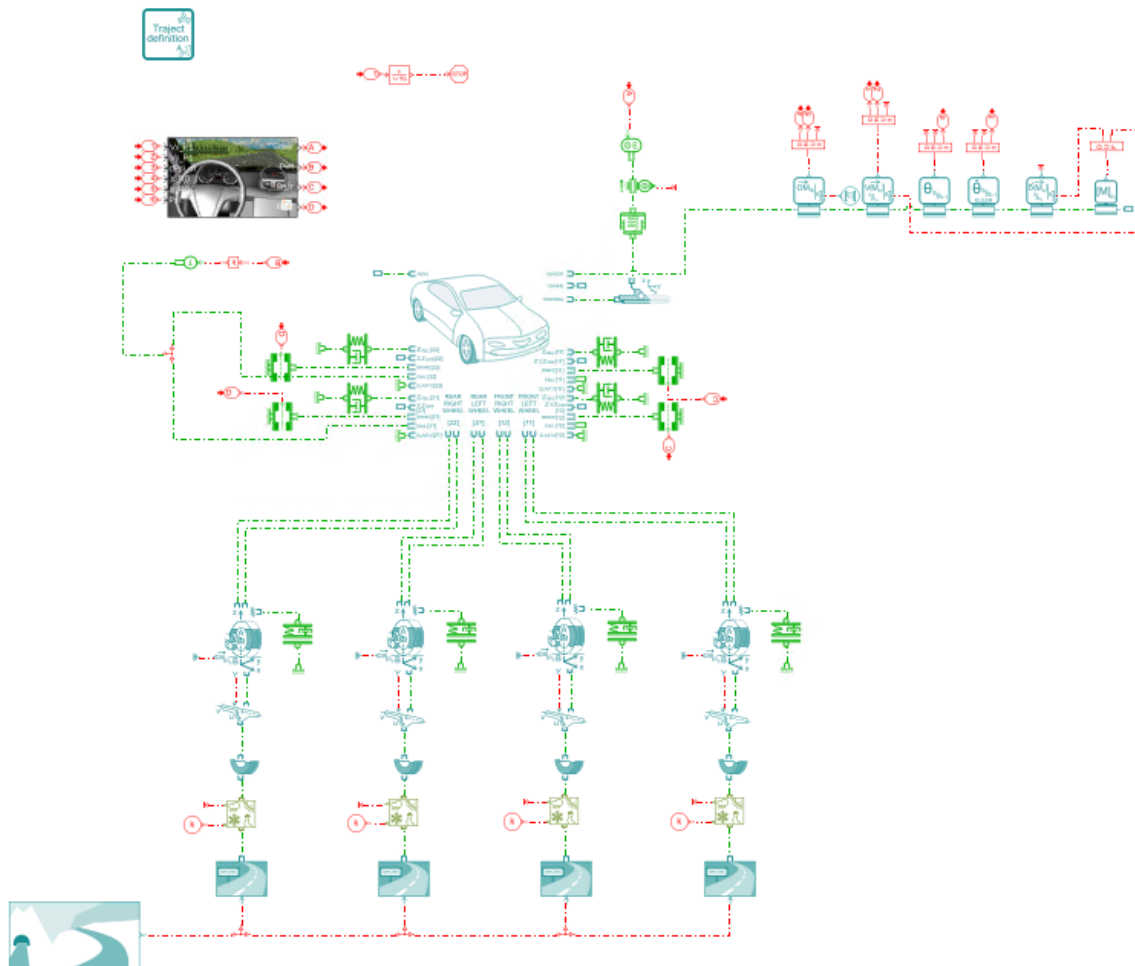


3.2.ábra A pályaszerkesztő program (JOSM-JAVA OpenStreetMap Editor)

Itt tehát a fent ismertetett lépések elvégzése után, az említett irányelveknek megfelelően készítettem elő a végleges pályát, melyet aztán gpx formátumban mentettem el. Az egyes formátumok közötti váltásra a használt programok képességei miatt volt szükség. Ennek a megemlítést azért tartom fontosnak, mivel így jól látható, hogy az ismertetett folyamat nem rutinszerű, egyszerűsítése, összevonása egy programba, az ehhez hasonló szimulációs folyamatok megkönnyítéséhez vezet, így remek fejlesztési lehetőséget tartalmaz.

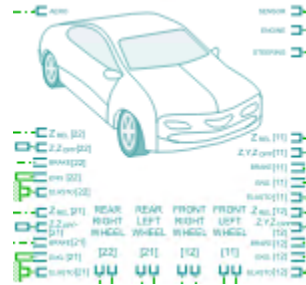


Vázlat létrehozása során van lehetőségünk felépíteni a szimulációnk vázát. Itt adhatjuk meg milyen elemeket szeretnénk használni a későbbiekben.



3.4.ábra A pályakövető modell vázlata

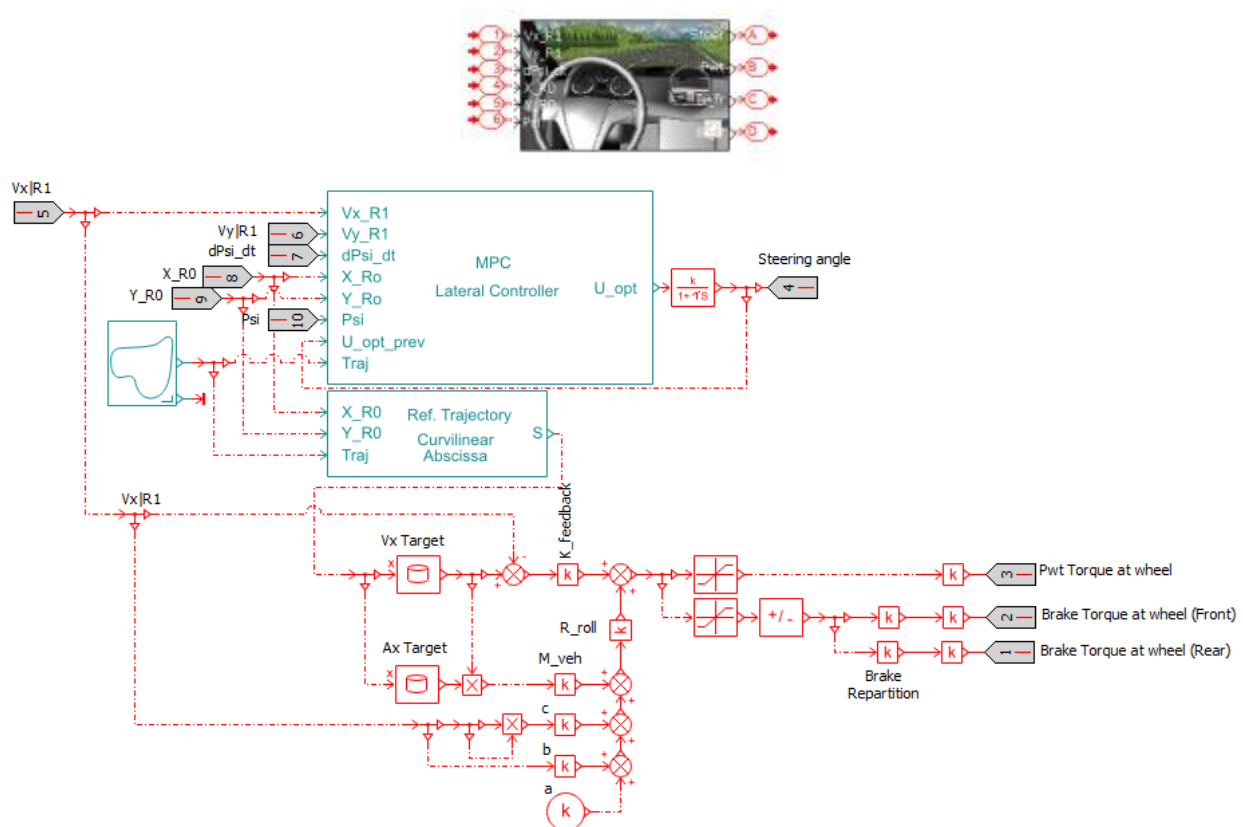
Esetemben a vázlat ablakban elhelyezett első főbb modul egy jármű modell modul. Ez egy 15 szabadságfokkal rendelkező modell. Elhanyagolásai között szerepel például az alváz csavarodásától való eltekintés. Paramétereik között megadható a felfüggesztés viselkedése, minden a karosszériára vonatkozó paraméter (tömegek, inerciák, tömegközéppont nyugalmi helyzete,...), valamint a szimulációhoz kapcsolódó explicit állapot leírására szolgáló jellemzők.



3.5.ábra A jármű modelljének modulja

Emellett természetesen hozzárendelhetők a szimuláció során változó paraméterek is, mint a kormánysszög értéke, a hajtott kerekekre ható nyomaték, valamint a légellenállásból adódó erő. Ez utóbbit a szimuláció során egyszerűsítési céllal elhanyagoltam. Mivel ez az erő a sebességgel négyzetesen arányos, így belátható, hogy esetemben a viszonylag alacsony végsebesség miatt nem jelentős a hatása.

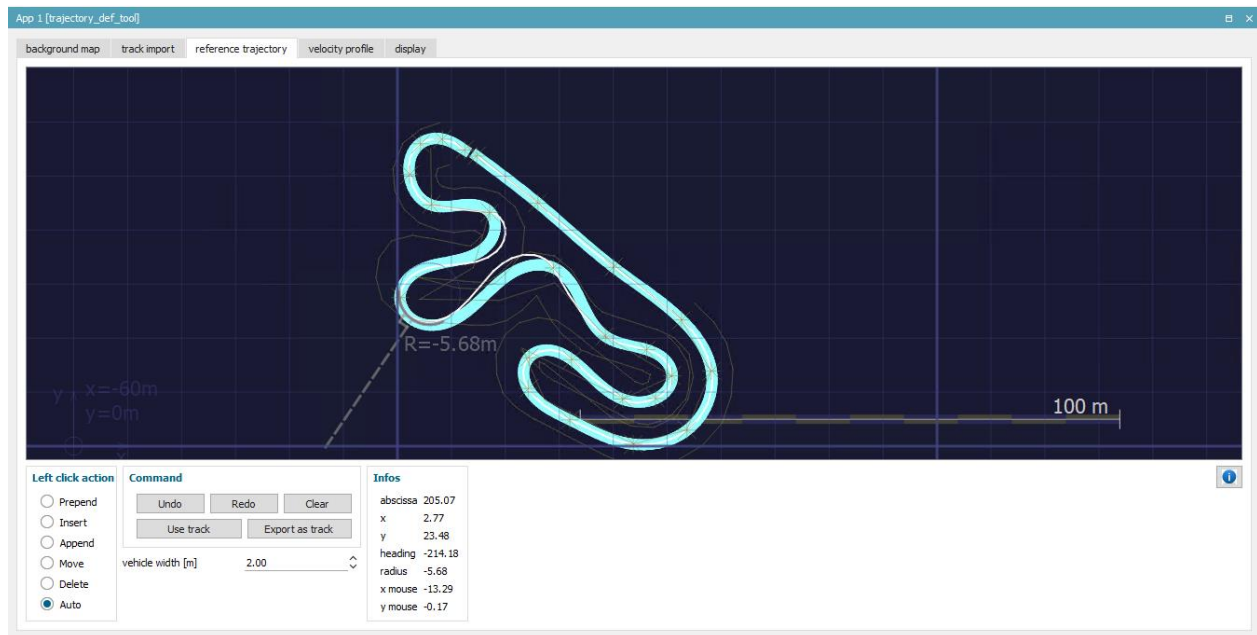
A másik főbb modul a pályakövetéshez szükséges szabályozás modulja. Itt a jármű szenzorozott paramétereire alapján az előző pontban ismertetett pályán vezeti végig a járművet.



3.6.ábra A jármű szabályozásának modulja

Látható, hogy a modulon belül is találhatóak még almodulok melyek az egyes rész-szabályozásáért felelnek. Ilyen a hosszirányú szabályozás amely a sebességprofilt felhasználásával a gyorsulásért felel, valamint a keresztirányú szabályozás amely a pályakövetésen belül a kanyarodásért felel.

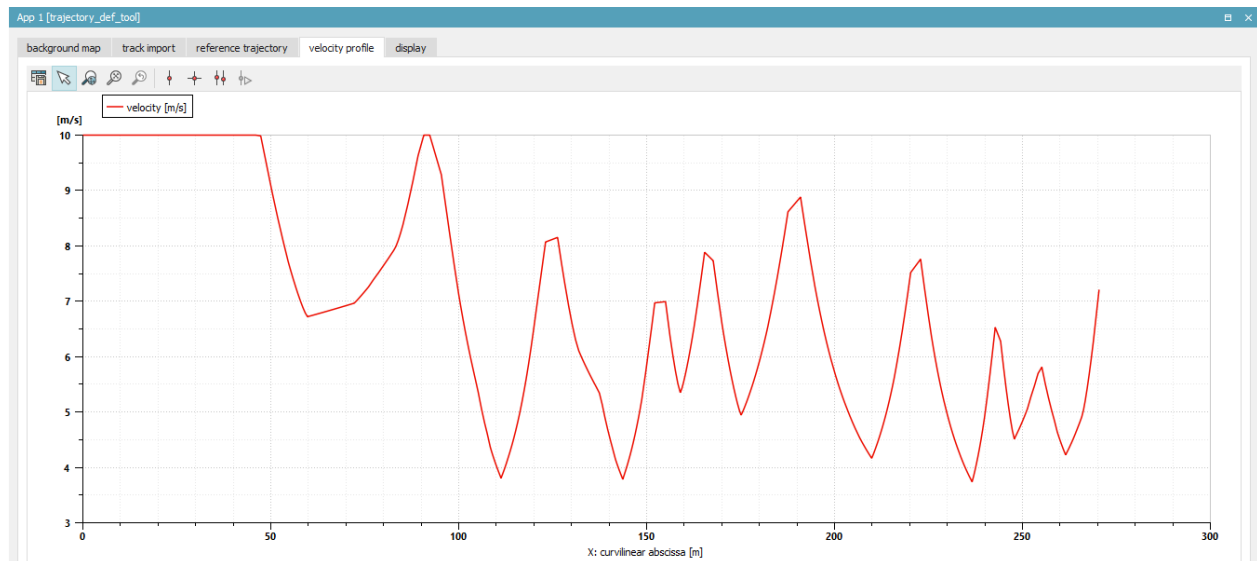
A harmadik főbb modul amelyet még mindenképp külön is kiemelnék, az előző pontban bemutatott pályát képezi le a szabályozás számra. Ennek különlegessége, hogy tulajdonképpen egy különálló programként jelenik meg a programban.



3.7.ábra A pályát értelmező modulikonja, és felhasználói felülete

Itt még van lehetőség a módosításra, amelyre sok esetben szükség is van, hiszen az előző pontban bemutatott pálya exportálása során előfordulhat, hogy az kevés vezérpontot tartalmaz, ezáltal a most bemutatásra kerülő program nem tud folytonos, sima pályát illeszteni rá. (A görbeillesztés során klotoid görbét használ a program). Emiatt van lehetőségünk új pontok közbeiktatására, valamint a meglévők mozgatására. Érdekességgé megemlíthető, hogy itt is van lehetőség minden

előzetes adat nélkül, a semmiből pályát meghatározni, ugyanakkor ez időigényesebb, valamint érzékeny a méretarányra.



3.8.ábra A sebességprofil

A most bemutatott modul képes továbbá egy sebességprofil meghatározására is. Ehhez előzetesen pár adatot használ csak fel (végsebesség, jármű tömege, megengedett legnagyobb gyorsulás). Ennek megfelelően ez csupán egy ideális esetet tükröz, tehát a szimuláció során ezeket az értékeket próbálja meg elérni a jármű, ugyanakkor, ha megcsúszik, mert esetlegesen túl nagy az itt meghatározott sebesség a kanyar beveteléhez, úgy természetesen ezektől eltérő eredményeket fog produkálni a végleges szimuláció.

Továbbá a fentebb bemutatott modulok mellett még sok egyéb kisebb modult is felhasználtam (szenzorok, rugók, kerék-talaj kapcsolat...), ezeket ugyanakkor külön nem mutatom be, mivel ebben a szimulációban alárendelt szerepet töltenek be, nevük pedig beszédes, az ellátott feladat szempontjából. Az egyik, a szimuláció szempontjából érdekesebb modul még a kerék-talaj kapcsolat modul, ahol lehetőség van a gumiabroncsra jellemző tapadási karakterisztika pontos megadására, ezeket pedig egy egyszerű súlyozással vonatkoztatni száraz, illetve nedves körülményekre.

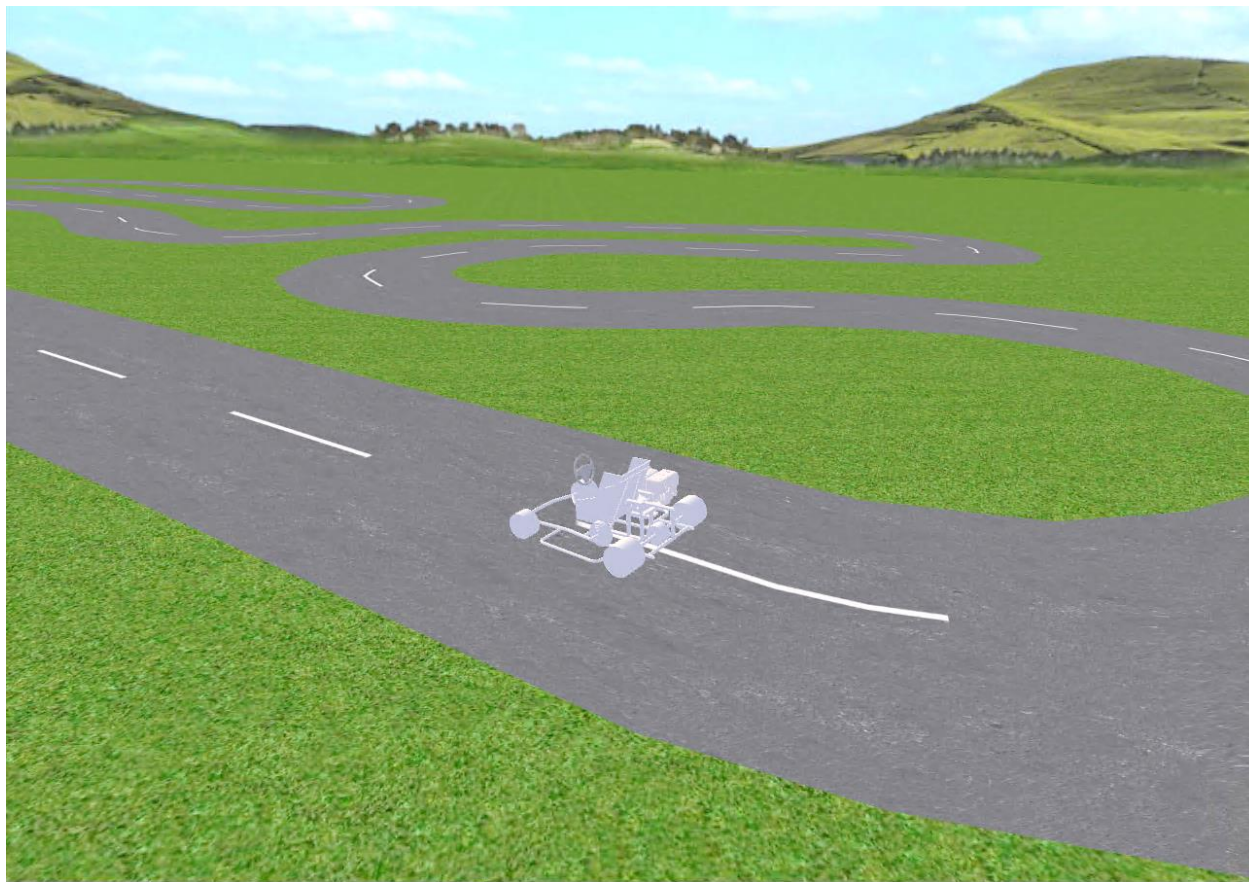
A pályaillesztés befejeztével megadhatók egyéb paraméterek is. Ilyenek például a rugók merevségei, a csillapítási tényezők, a tömegek, a kezdősebesség, a nyomtáv, a tengelytáv... Ezeket a paramétereket a mellékletben foglaltam össze. A legfontosabbak ezek közül a következők.

1. Táblázat. A pályakövető modell főbb bemeneti paraméterei

Megnevezés	Érték	Mértékegység
Nyomtáv elől	850	[mm]
Nyomtáv hátul	1000	[mm]
Tengelytáv	1080	[mm]
Tömeg	300	[kg]
Kezdősebesség	5	[m/s]
Súlypont X koordinátája	500	[mm]
Súlypont Y koordinátája	0	[mm]
Súlypont Z koordinátája	130	[mm]
Kerék sugara	125	[mm]

Ezek után a szimuláció futtatható és megkaphatjuk a jármű által leírt tényleges pályát, a valós sebességprofilt, valamint az egyes futóművekre ható terheléseket. Természetesen ezeken kívül még sok egyéb adatot is kinyerhetünk, azonban úgy gondolom a fentebb említettek alapján már kellő mértékben összehasonlíthatóvá válnak az egyes eltérő futtatások.

Végezetül a jármű mozgását, a számszerű adatok mellett, szubjektív módon, animáció segítségével is vizsgálhatjuk. Ennek segítségével tulajdonképpen validálhatjuk is a modellünket, hiszen minden nem várt viselkedés, a valóságtól eltérő módon megjelenő geometriai jellemzők itt ütköznek ki a legjobban.



3.9.ábra Az animáció

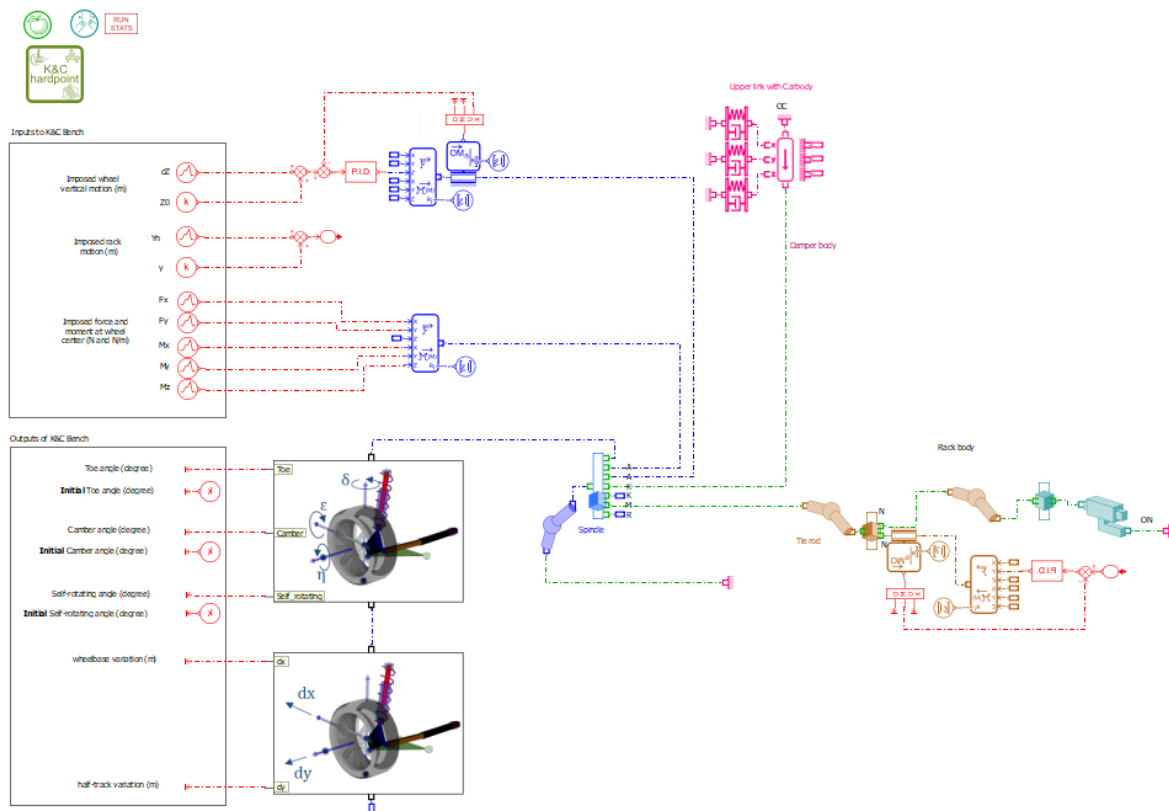
Az animáció során látható gokart megegyezik a bevezetőben ismertetett, a diplomamunkám során is vizsgált gokarttal. Mivel a jármű ténylegesen a rendelkezésemre áll így a jövőben akár lehetőség nyílik annak a tényleges tesztelésére. Ennek megfelelően történt a pálya kiválasztása is. Mivel egy közeli, valós pályát választottam a szimulációhoz, így lehetőség adódik a későbbi tesztekre.

3.2. A futóműmodell bemutatása

A következő nagyobb lépésben a futómű modelljét készítettem el. Ehhez szintén rendelkezésemre álltak kész modulok, valamint 6 szabadságfokú térbeli geometriai elemek. Ezek segítségével építettem fel mind a merev mind pedig a rugózott felfüggesztést is. A programban lehetőség van minden egyes futóműhöz kapcsolódó főbb geometriai pont megadására, ezáltal, előzetesen vizsgálhatjuk a felfüggesztés viselkedését berugózás és kormányzás hatására.

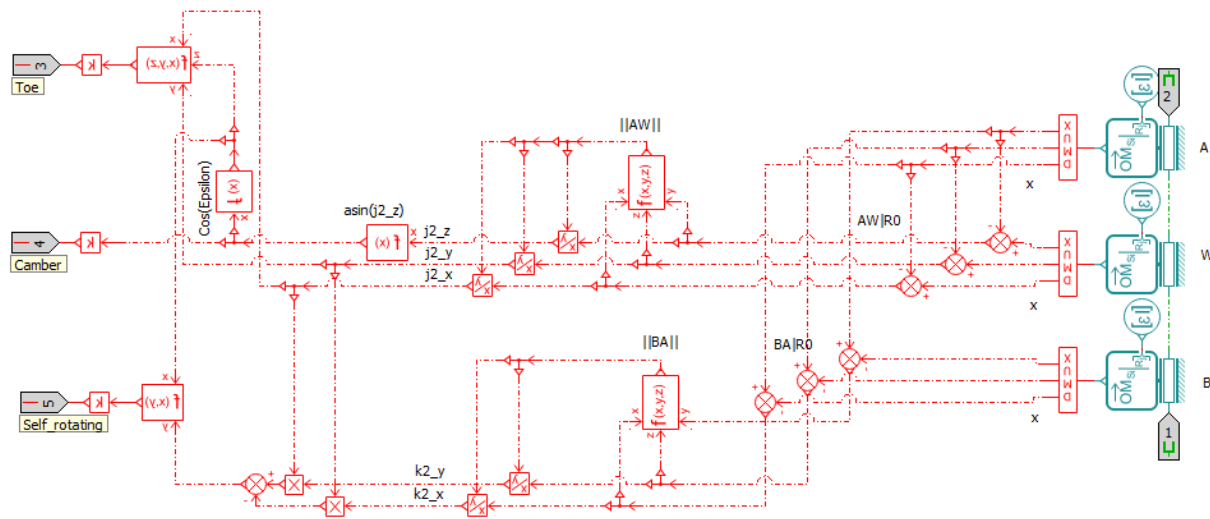
3.3.1 Merev felfüggesztés

Első körben a merev felfüggesztés modelljét készítettem el, ezen belül is az első tengelyen található felfüggesztés modelljét. Itt mivel megjelenik a kormányzás is, mint bemeneti paraméter, bonyolultabb modellt kellett felépítenem, mint a hátsó tengely esetében. Továbbá belátható, hogy mivel a hátsó tengely esetében a kerék közvetlenül a forgó tengelyen van rögzítve nyomatékkötéssel, így a hátsó tengelyen nem állíthatók a futómű paraméterei (a tengelytávot leszámítva). Ez a hátsó futómű vizsgálatánál szintén egyszerűsödést okozott a modellben.



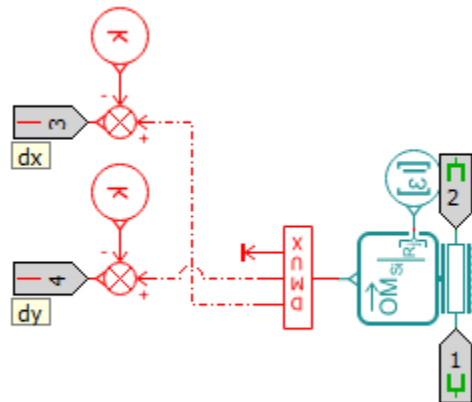
3.10.ábra A merev felfüggesztés modelljének vázlata

A felfüggesztés modelljében, hasonlóan a pályakövető modellhez szintén megtalálhatók almodellek, melyek itt a futóműparaméterek dinamikus változását hivatottak lekövetni, és



kijelezni.

3.11.ábra Almodell a kerékösszetartás, kerékdőlés és az utánfutási szög számítására

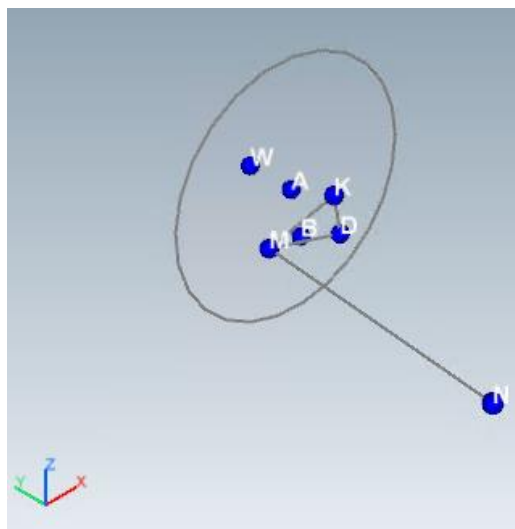


3.12.ábra Almodell a nyomtáv és tengelytáv változásának számítására

A szimuláció során az alábbi geometriai pozíciókkal dolgoztam.

2.Táblázat. A merev felfüggesztés geometriai adatai

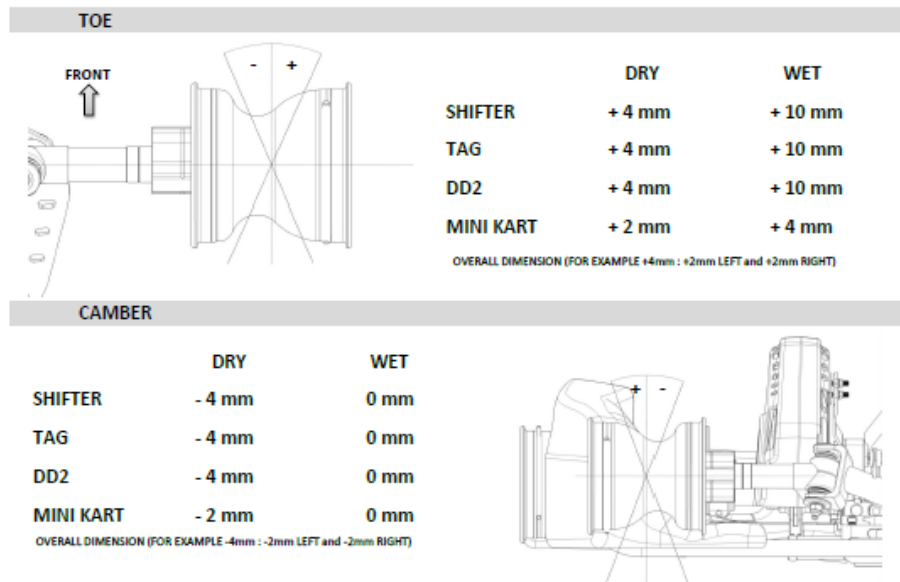
Name	Xmodel	Ymodel	Zmodel	X	Y	Z	Description
A	1.288	0.76	-0.25	1.288	0.76	-0.25	wheel centre
B	1.3075	0.758	-0.375	1.3075	0.758	OA_z-0.125	contact patch
D	1.305	0.6342	-0.30657	1.305	0.6342	-0.30657	spindle lower ball joint
M	1.13858	0.66	-0.2725	1.13858	0.66	-0.2725	tie rod outer ball joint
N	1.11294	0.045	-0.282	1.11294	0.045	-0.282	tie rod inner ball joint
K	1.274	0.6158	-0.19071	1.274	0.6158	-0.19071	lower strut
W	1.2861	0.885	-0.248	1.2861	OA_y+0.125	-0.248	camber adjust (on wheel rotation axis)



3.13.ábra A merev felfüggesztés kialakítása a geometriai adatok alapján

A táblázatban pirosan jelzett értékek csak az egymásra utaltságot jelzik, hogy nem konkrét értékkel, hanem összefüggéssel definiáltam, nem a hibás értéket. Látható, hogy a félkövérrel szedett adatok már számszerűen megfelelnek ezeknek az értékeknek.

Az adatok meghatározása során egy gokart gyártó által megadott javasolt beállítási értékeket tekintettem kiindulási alapnak.



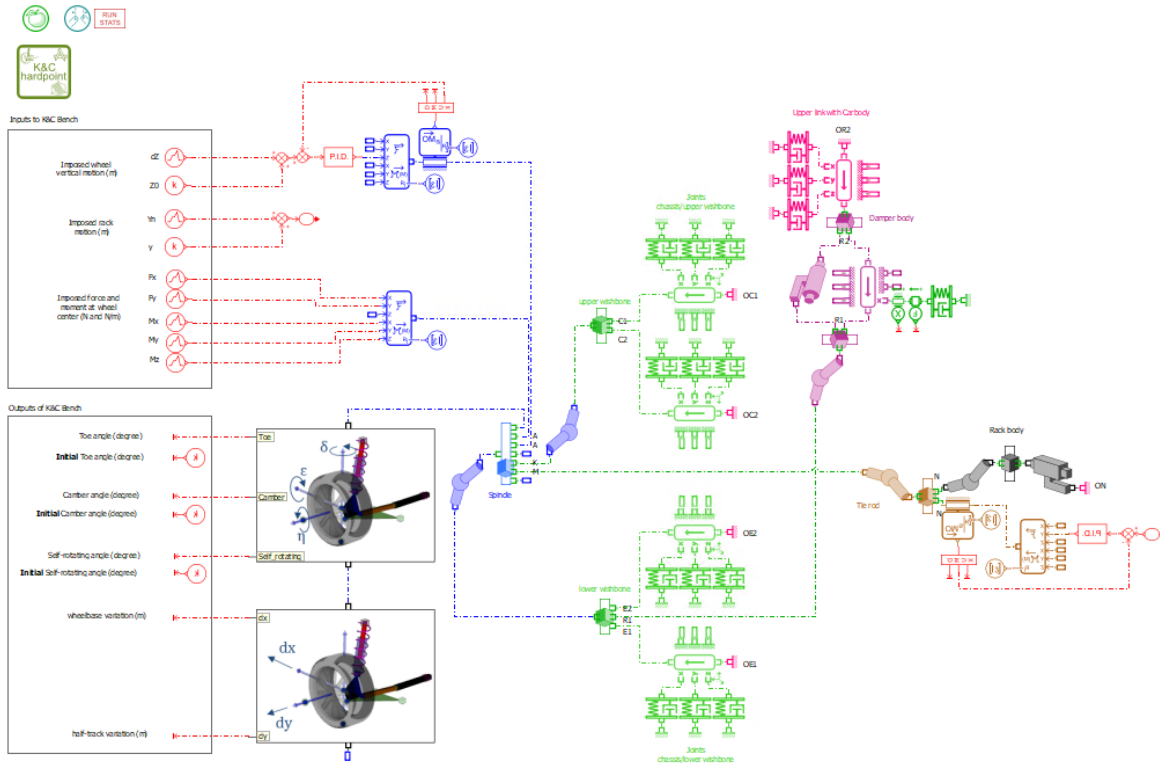
3.14.ábra A felfüggesztés beállításának ajánlott értékei [8]

Amire itt nem adott utalást a gyártó (utánfutási szög), ott internetes fórumok javaslata alapján +15 [°]-os kiindulási értéket vettem fel. [9] Emellett természetesen a meglévő rendelkezéseimre álló gokarton végzett mérések alapján is volt lehetőségem a paraméterek meghatározására.

3.3.2 Rugózott felfüggesztés

A rugózott esetre a kettős keresztlengőkaros típusú futóművet választottam. Ez a típus a leginkább elterjedt a versenysportokban kedvező helyszükséglete, valamint egyszerű és változatos beállíthatósági jellemzői miatt.

A rugózott felfüggesztés esetében hasonlóan építettem fel a modelletem, mint a merevnél. Itt is ugyanazokat az építőelemeket használtam, valamint ugyanazokat az almodelleket. Ebben az esetben az első futóműnél ugyanazokat a geometriai paramétereket alkalmaztam, mint a merev esetén, ennek megfelelően a két futómű között ténylegesen csak a rugózásban lesz eltérés. Ennél a szimulációnál a hátsó futóművet ugyanúgy semleges állapotban vizsgáltam, mint a merev esetben, csak rugózással.



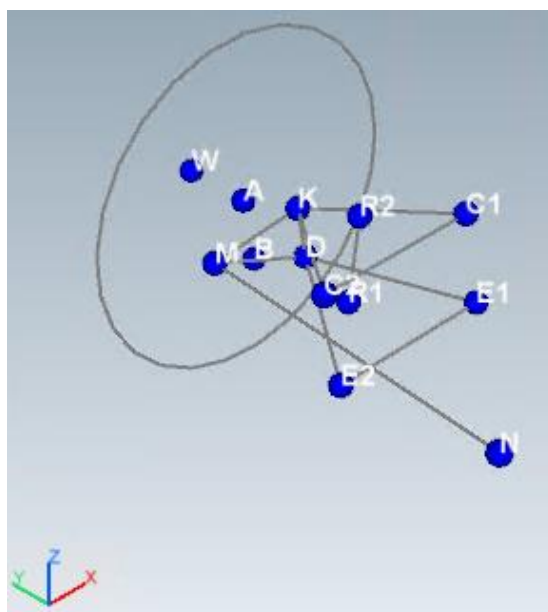
3.15.ábra A rugózott felfüggesztés modelljének vázlata

A modellen megfigyelhető a jellegbeli hasonlóság a merevhez a felépítését tekintve, ugyanakkor látható a kétszeresen megjelenő lengőkar modellje is (zöld).

A vizsgálat során a futóműnek a következő bemeneti paramétereket adtam meg a számításokhoz.

3. Táblázat. A rugózott felfüggesztés geometriai adatai

Name	Xmodel	Ymodel	Zmodel	X	Y	Z	Description
A	1.288	0.76	-0.25	1.288	0.76	-0.25	wheel centre
B	1.3075	0.762	-0.375	1.3075	0.762	OA_z-0.125	contact patch
K	1.274	0.6158	-0.1907	1.274	0.6158	-0.1907	upper wishbone ball joint
C1	1.424	0.4	-0.17	OK_x+0.15	0.4	-0.17	upper wishbone bushing - front
C2	1.124	0.4	-0.17	OK_x-0.15	0.4	-0.17	upper wishbone bushing - rear
D	1.305	0.6342	-0.30657	1.305	0.6342	-0.30657	lower wishbone ball joint
E1	1.455	0.4	-0.354	OD_x+0.15	0.4	-0.354	lower wishbone bushing - front
E2	1.155	0.4	-0.354	OD_x-0.15	0.4	-0.354	lower wishbone bushing - rear
M	1.13858	0.66	-0.25	1.13858	0.66	-0.25	tie rod outer ball joint
N	1.11294	0.045	-0.25	1.11294	0.045	-0.25	tie rod inner ball joint
R1	1.305	0.5364	-0.34614	OD_x	0.5364	-0.34614	lower strut ball joint
R2	1.305	0.51	-0.16994	OD_x	0.51	-0.16994	upper strut bushing
W	1.2861	0.885	-0.248	1.2861	OA_y+0.125	-0.248	camber adjust (on wheel rotation axis)



3.16.ábra A rugózott felfüggesztés kialakítása a geometriai adatok alapján

Itt hasonlóan a merevnél bemutatott esethez a piros szín az egymásra épülést jelzi, nem a hibát.

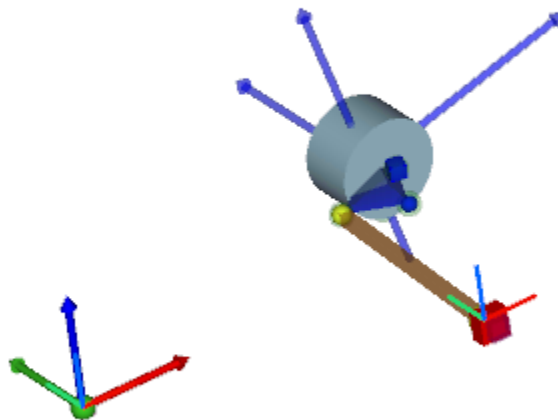
A futóműmodellek képesek kiszámítani a meghatározott gerjesztésre adott futóműgeometria fő jellemzőinek a válaszfüggvényeit. Ezeket a legenerált adatokat az előző pontban megadott járműmodell megfelelő bemenetére beolvasva kaphatunk végleges képet a jármű valós viselkedéséről.

IV. Eredmények, kiértékelés ^[6]

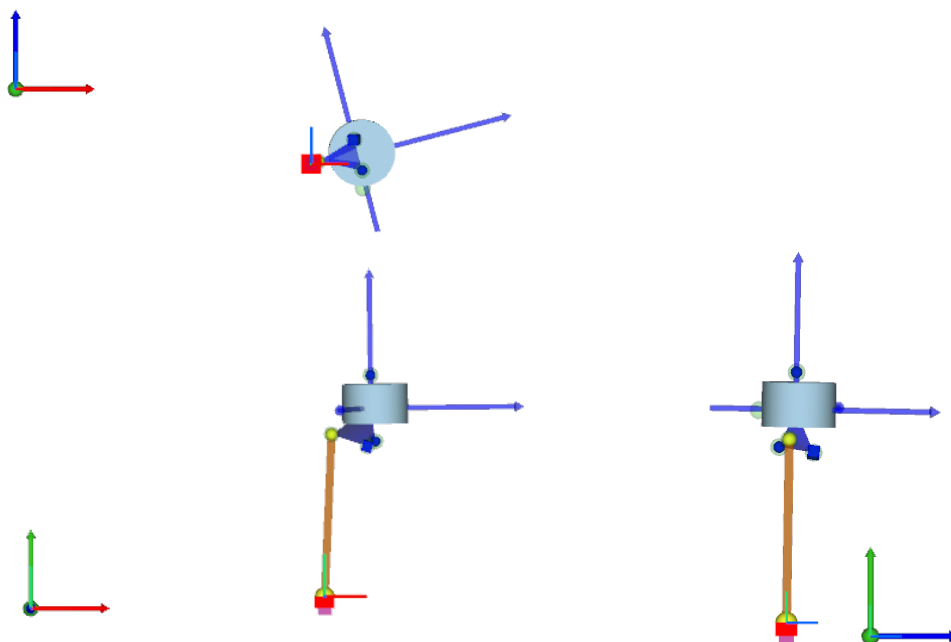
Ebben a pontban kerülnek ismertetésre az egyes konfigurációk vizsgálata során kapott eredmények, valamint ezeknek az összehasonlítása. A következőkben teljességében csak egy modellt mutatok be az eredményeivel együtt, a többi esetben csak a fontosabb eredményeket ismertetem, az itt be nem mutatott eredmények a mellékletben megtalálhatók.

4.1. Merev felfüggesztés eredményei

A felfüggesztés szimulálása során lehetőség van egy előre megadott tartományon vizuálisan vizsgálni a legenerált felfüggesztést. Ennek során még nem állnak rendelkezésre a válaszfüggvény eredményei.

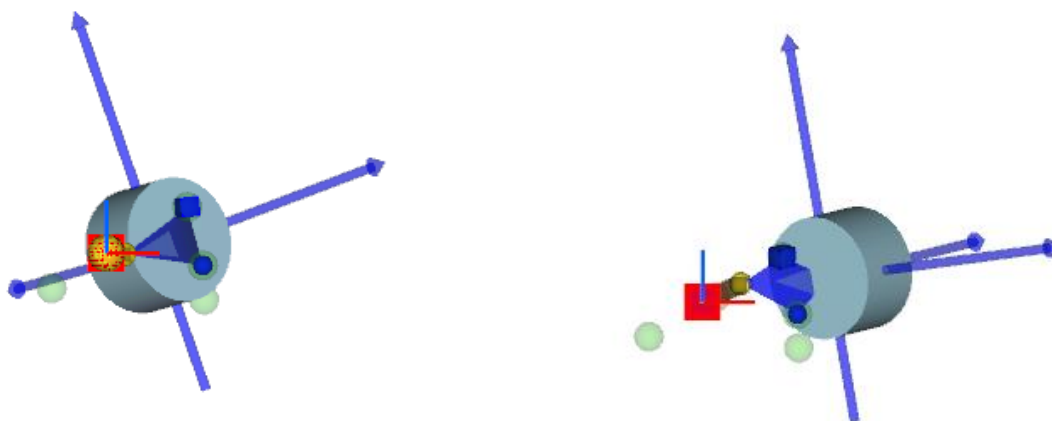


4.1.ábra A merev felfüggesztés axonometrikus nézetben



4.2.ábra A merev felfüggesztés három különböző nézetben.

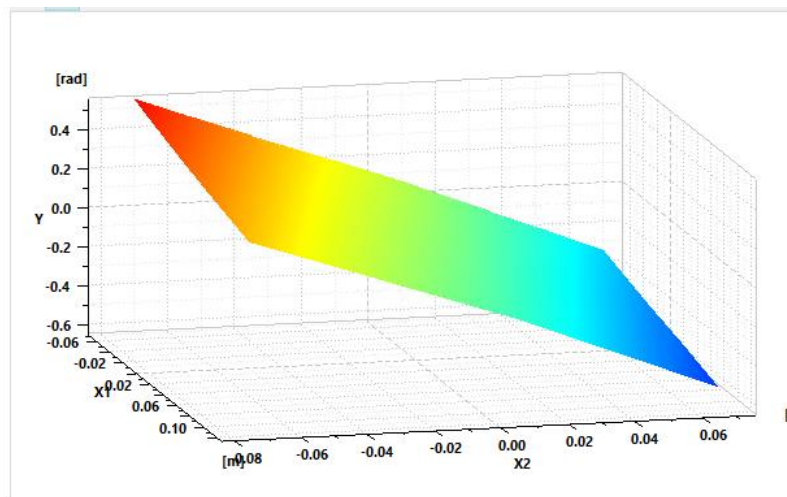
A fenti ábrákon jól kivehetők az egyes szögek amik a fűtőművet jellemzik. Emellett előzetesen megvizsgálhatjuk, hogy történik-e ütközés a futómű mozgása során.



4.3.ábra A merev felfüggesztés az elkormányozottság két véghelyzetében

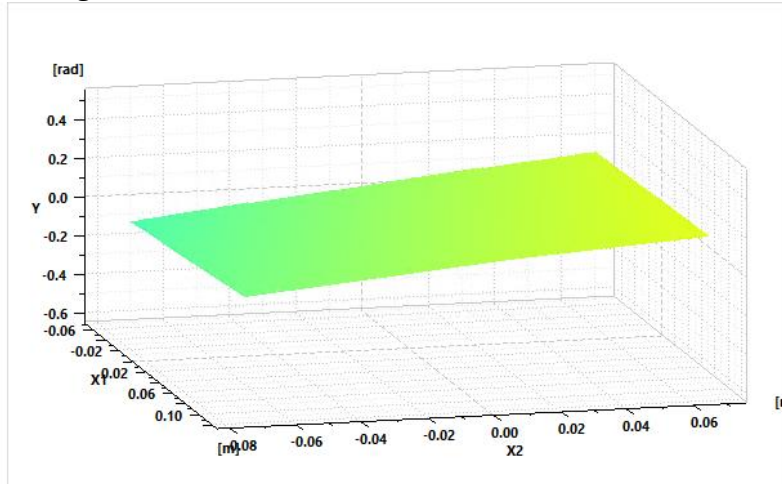
Amint az a szakirodalmi áttekintésben említettem a gokartokra leginkább jellemző kanyarodási tulajdonság, az, hogy az ívbelső hátsó kereküket elemelik az aszfaltról. A most bemutatott ábrákon megfigyelhető, hogy egy rögzített vizsgálati szemszögből, abban az esetben amikor a kanyarodás során a kerék az ívbelső kerék lesz (4.3. ábra bal oldal) a kerék talppontja lentebb helyezkedik el mint a másik esetben. Ezzel a modell helyesen követi a valós gokartok viselkedését.

A szoftver lehetőséget biztosít a tényleges futtatás után ezeknek a jellemzőknek a részletes vizsgálatára is. Ennek során a tengelyek elnevezése a következőképpen alakul, X1-el jelölve jelenik meg a kerék függőleges irányú elmozdulása. X2-vel pedig a kormányösszekötő elmozdulása, Y-nal pedig az éppen vizsgált jellemző értéke.

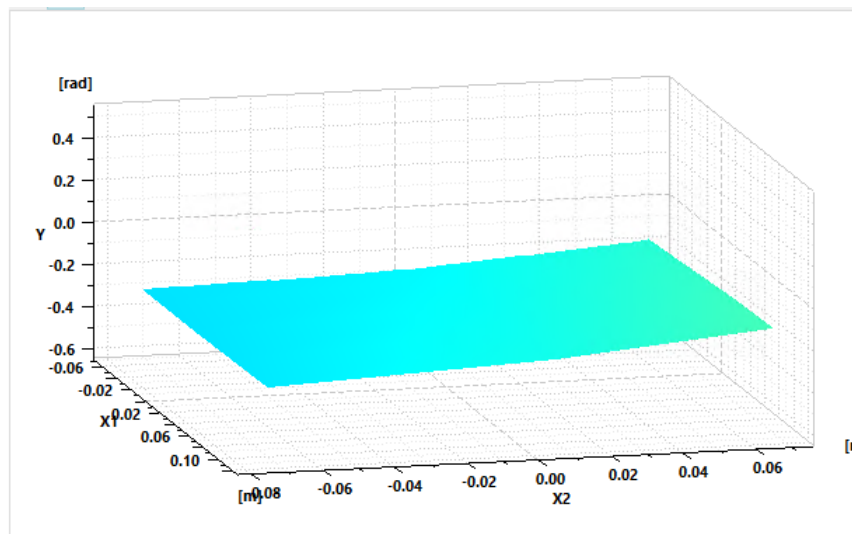


4.4.ábra A bal oldali kerékösszetartás értékének (Y) változása a kerék függőleges irányú elmozdulása (X1) és a kormányösszekötő elmozdulásának (X2) függvényében, merev első felfüggesztés esetén

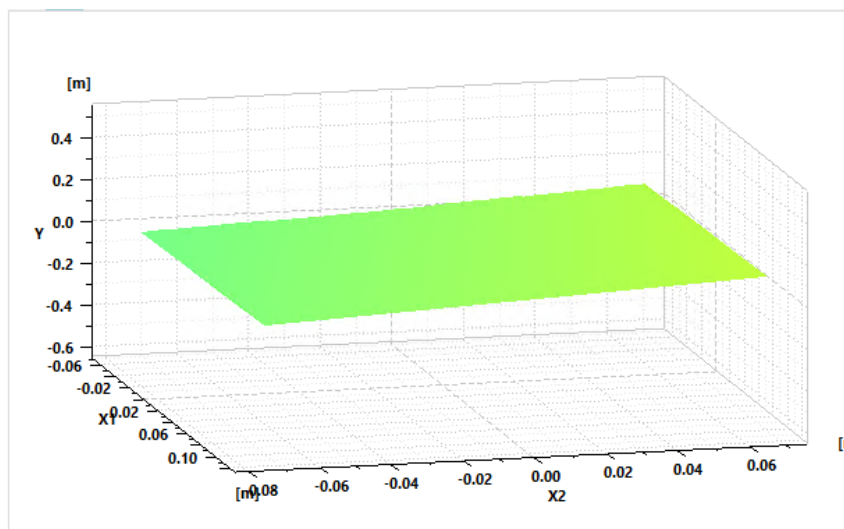
Itt látható, hogy a futóművet nem befolyásolja a kerék függőleges elmozdulása (X_1). Mivel a merev felfüggesztés esetén ez az elvárt viselkedés, így a korábban bemutatott előzetes vizsgálat mellett ezáltal is van lehetőségem validálni a modelemet.. Ez a jelenség a többi ábrán is megjelenik, így ezért azokra már nem fogok külön kitérni.



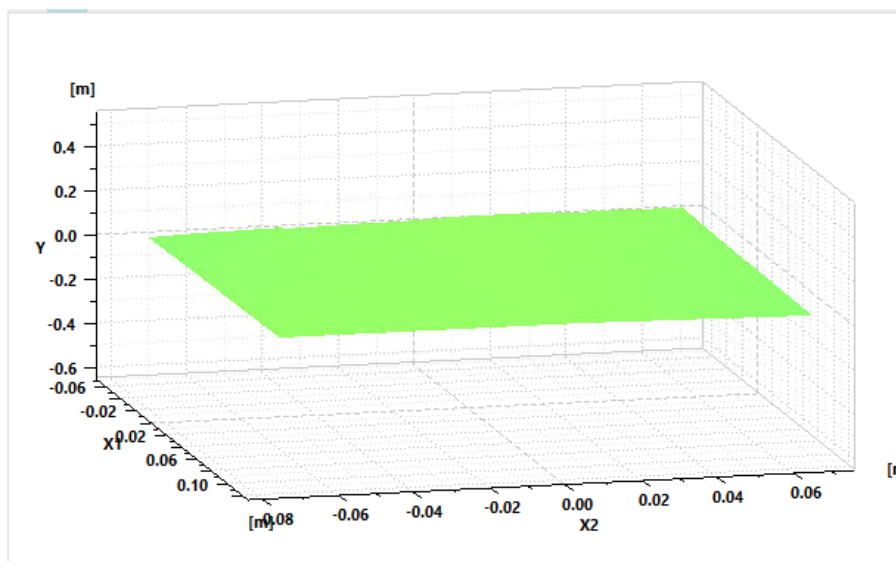
4.5.ábra A bal oldali kerékdőlés értékének (Y) változása a kerék függőleges irányú elmozdulása (X_1) és a kormányösszekötő elmozdulásának (X_2) függvényében, merev első felfüggesztés esetén



4.6.ábra A bal oldali utánfutási szög értékének (Y) változása a kerék függőleges irányú elmozdulása (X_1) és a kormányösszekötő elmozdulásának (X_2) függvényében, merev első felfüggesztés esetén

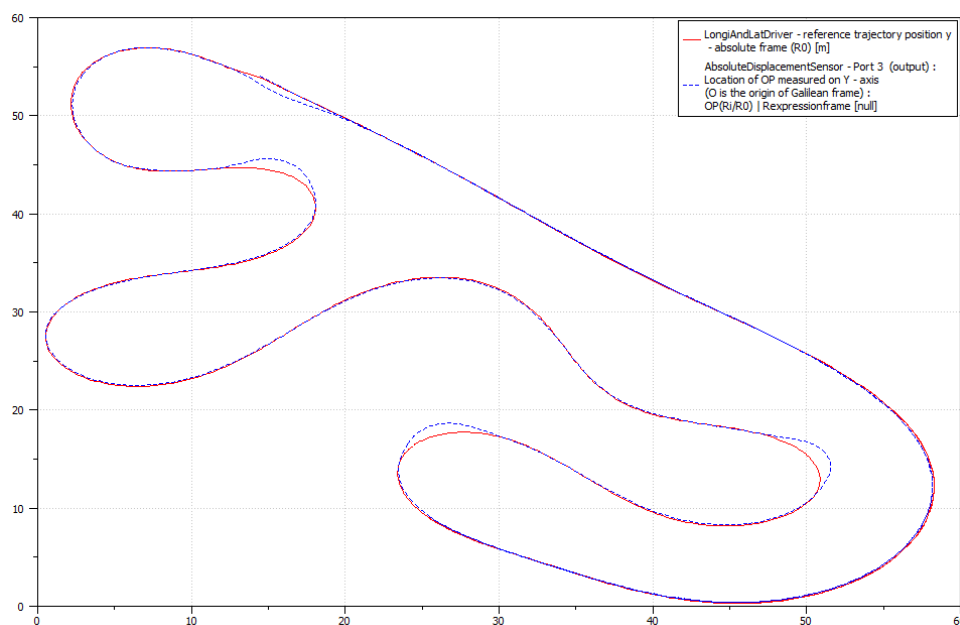


4.7.ábra A bal oldali tengelytávvaltozás értékének (Y) változása a kerék függőleges irányú elmozdulása (X1) és a kormányösszekötő elmozdulásának (X2) függvényében, merev első felfüggesztés esetén



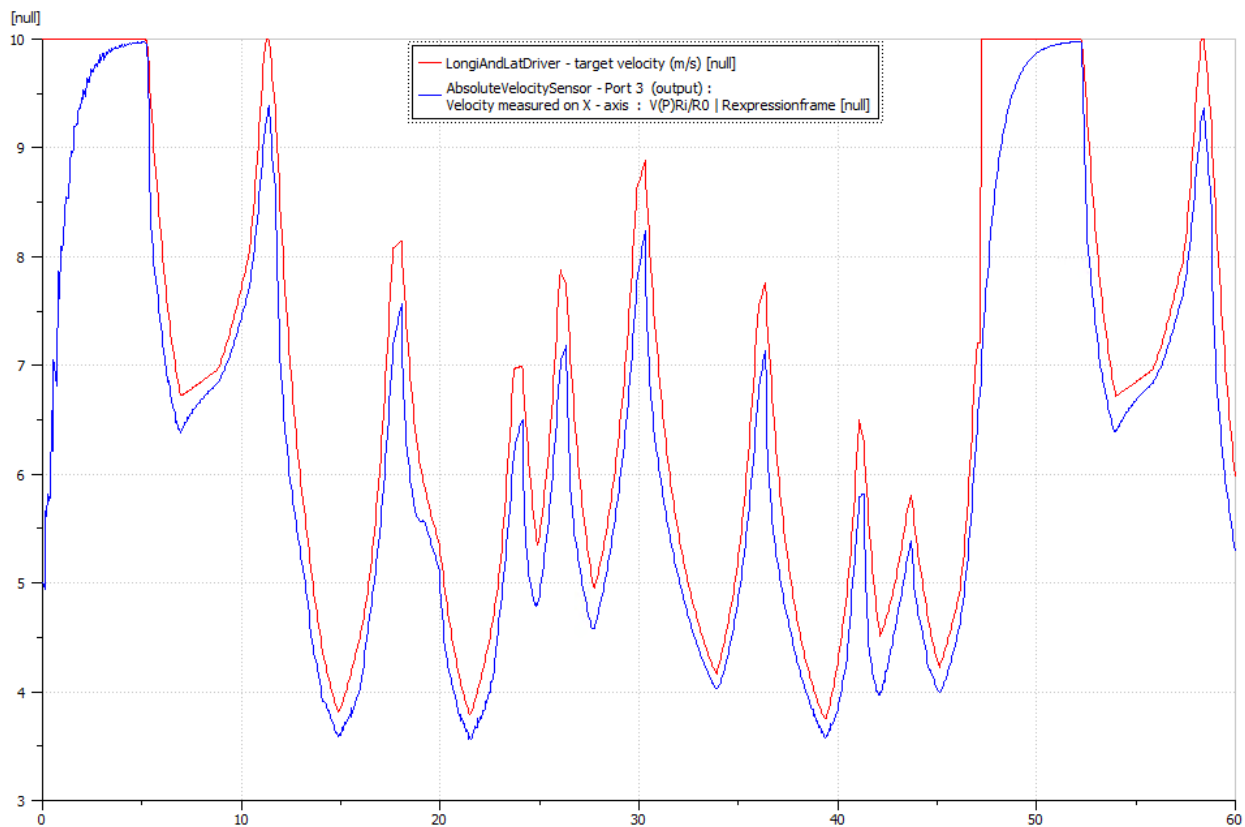
4.8.ábra A bal oldali nyomtávvaltozás értékének (Y) változása a kerék függőleges irányú elmozdulása (X1) és a kormányösszekötő elmozdulásának (X2) függvényében, merev első felfüggesztés esetén

Miután ezeket az eredményeket megfelelőnek találtam, az adatokat beolvasva a pályakövető szimulációba, a következő eredményeket kaptam.



4.9.ábra A pályakövetés eredménye merev felfüggesztés esetén (piros vezérelt pálya, kék valós pálya)

Ezek alapján a jármű képes végighaladni a számára kijelölt pályán, ugyanakkor néhány helyen elhagyja azt. Ezt okozhatja a felfüggesztés pontos kialakításának hiányossága. Ugyanakkor jelen dolgozat célja két azonos geometriai paraméterekkel rendelkező felfüggesztés vizsgálata volt merev és rugózott esetben. Így a legkedvezőbb pontos geometriai kialakítás megkeresésétől eltekintettem. A korábban említett indok mellett természetesen a szabályozás finomításával is elérhető javulás a pálya követésének pontosságát tekintve. Nevezetesen mivel kanyarokban a kigyorsítási fázisban van nehézsége a pontos pályakövetéssel, így ennél az esetről szükséges a szabályozást pontosítani.



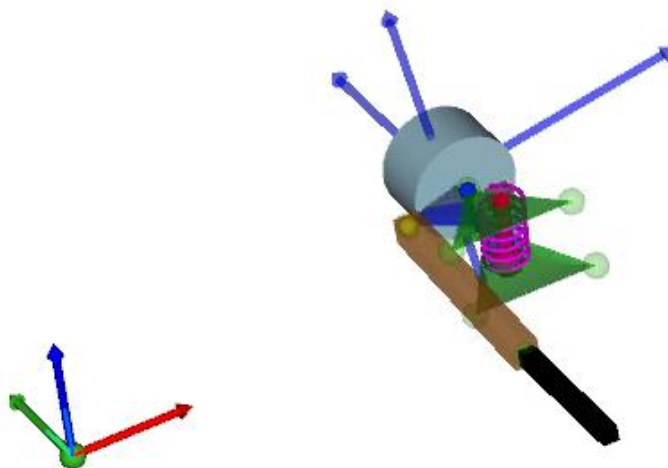
4.10.ábra A pályakövetés sebességprofilja merev felfüggesztés esetén (piros vezérelt jel, kék valós sebesség)

Látható, hogy a jármű sebessége, mindenhol elmarad a vezérelt jeltől. Erre magyarázattal szolgálhat, hogy csak a valós esetben veszi figyelembe a jármű megcsúszását, megingását, egyéb korrigálandó dolgokat. Ugyanakkor a sebességprofil markánsan követi a vezérelt jelet, ez alapján a szabályozás megfelelő a sebességet tekintve. Továbbá, látható a kezdeti sebességről való hirtelen

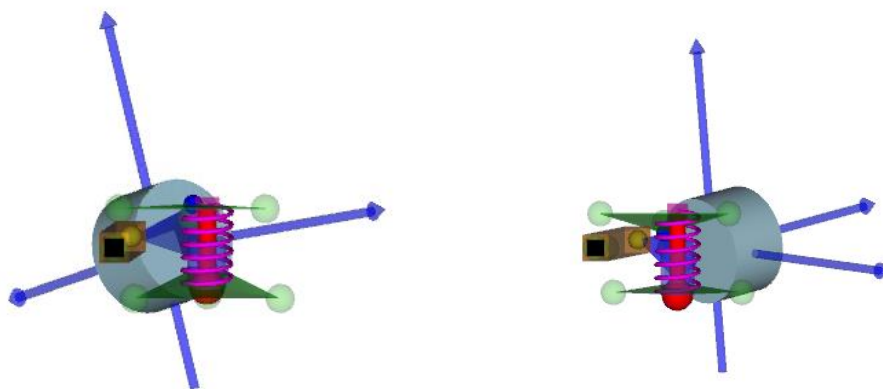
gyorsítás a kívánt maximális sebességre (10 [m/s]). Itt a jármű sebessége akadozva nő, mely a nagy gyorsítás során bekövetkezett megcsúszásnak illetve a futómű merevségének tudható be.

4.2. Rugózott felfüggesztés eredményei

A rugózott felfüggesztés esetére teljesen analóg módon végeztem el a vizsgálatokat. Ez alapján a következő eredményeket kaptam.

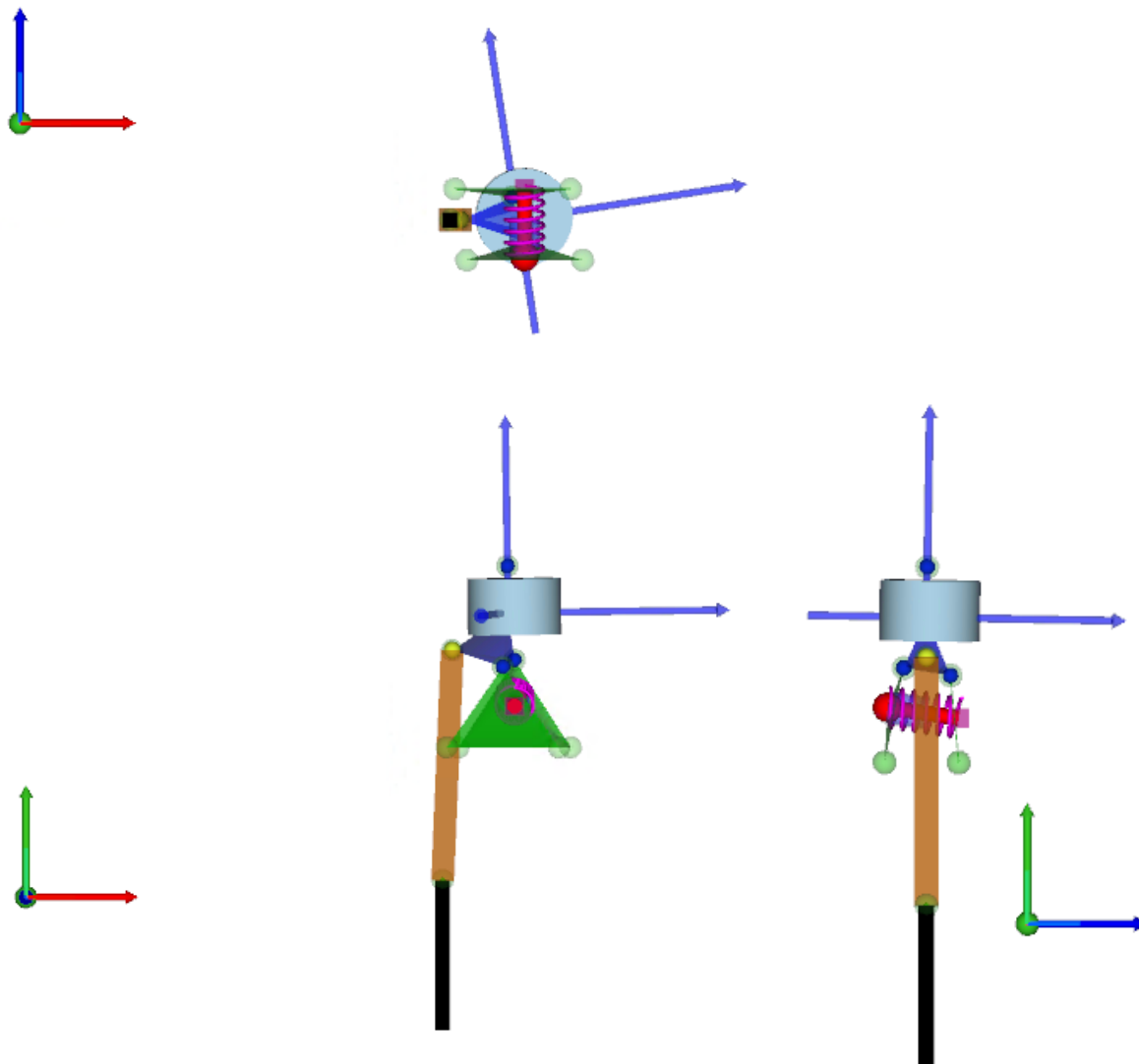


4.11.ábra A rugózott felfüggesztés axonometrikus nézetben



4.12. ábra. A rugózott felfüggesztés az elkormányozottság két véghelyzetében

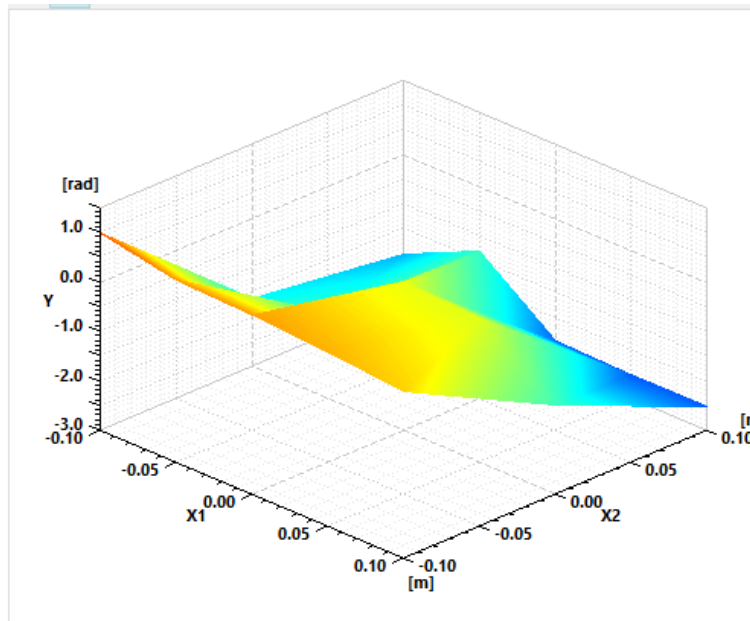
Látható, hogy ebben az esetben közel sem süllyed annyit a kerék a rugó hatása miatt.



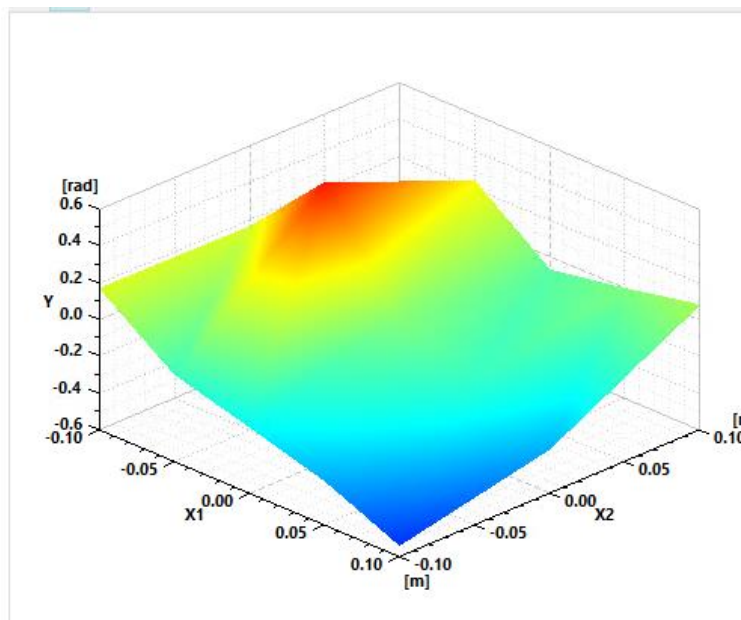
4.13.ábra A rugózott felfüggesztés három különböző nézetben

A rugózott felfüggesztés esetén érdemes megjegyezni, hogy az elkormányzás során az utánfutási szögből adódó kiemelést, a rugóstag legnagyobb részben elnyeli, továbbá a hátsó emelkedést is képes lekövetni, ezáltal már nem jelennek meg a klasszikus gokartra jellemző viselkedések.

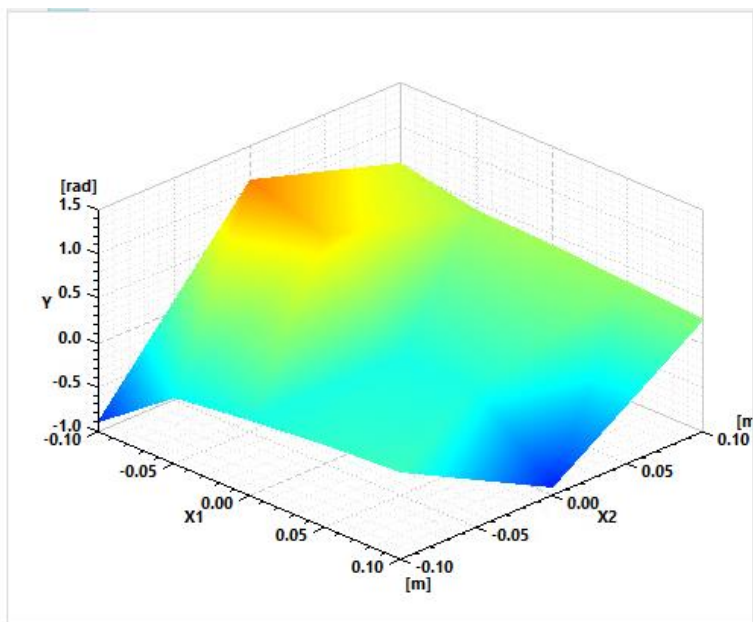
X1 továbbiakban is a kerék függőleges elmozdulása, X2 pedig a kormányösszekötő mozgása.



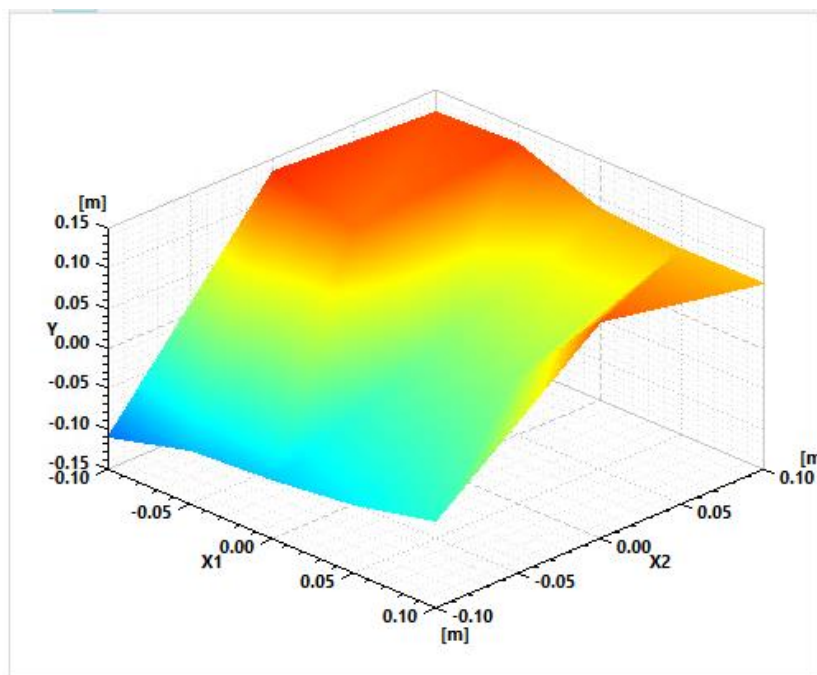
4.14.ábra A bal oldali kerékösszetartás értékének (Y) változása a kerék függőleges irányú elmozdulása (X_1) és a kormányösszekötő elmozdulásának (X_2) függvényében, rugózott első felfüggesztés esetén



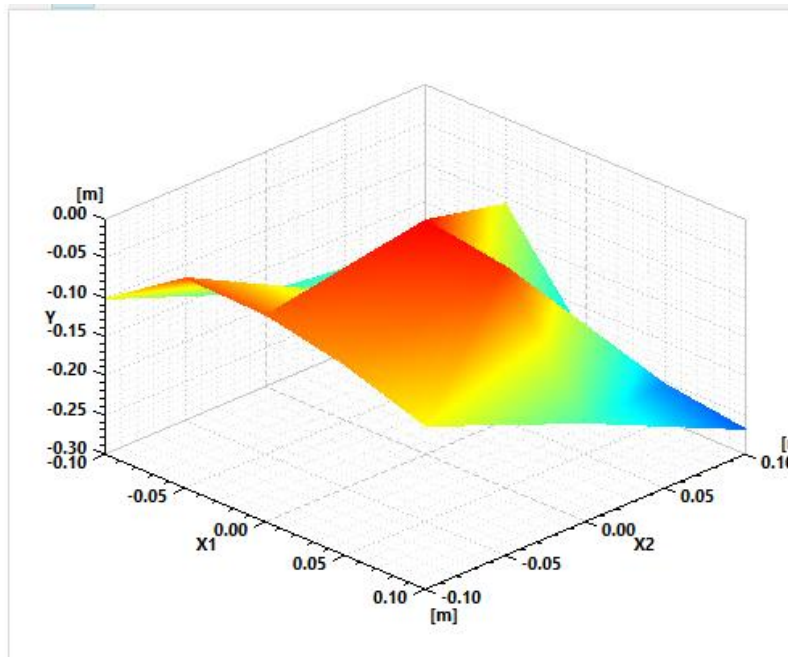
4.15.ábra A bal oldali kerékdőlés értékének (Y) változása a kerék függőleges irányú elmozdulása (X_1) és a kormányösszekötő elmozdulásának (X_2) függvényében, rugózott első felfüggesztés esetén



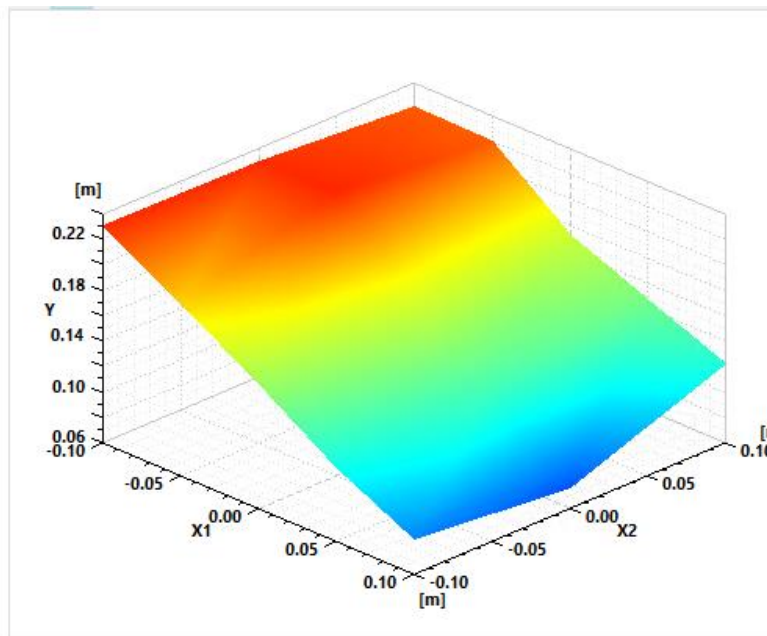
4.16.ábra A bal oldali utánfutási szög értékének (Y) változása a kerék függőleges irányú elmozdulása (X_1) és a kormányösszekötő elmozdulásának (X_2) függvényében, rugózott első felfüggesztés esetén



4.17.ábra A bal oldali tengelytávváltozás értékének (Y) változása a kerék függőleges irányú elmozdulása (X_1) és a kormányösszekötő elmozdulásának (X_2) függvényében, rugózott első felfüggesztés esetén



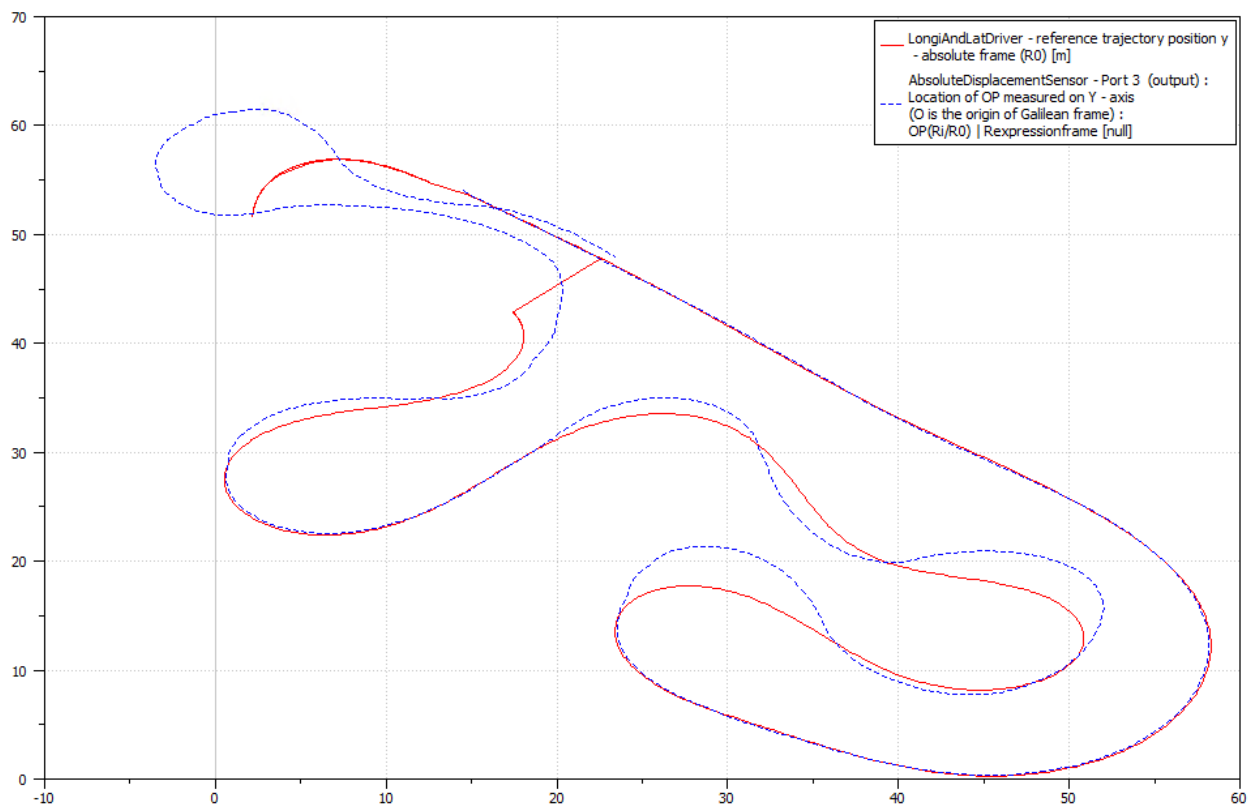
4.18.ábra A bal oldali nyomtávváltozás értékének (Y) változása a kerék függőleges irányú elmozdulása (X1) és a kormányösszekötő elmozdulásának (X2) függvényében, rugózott első felfüggesztés esetén



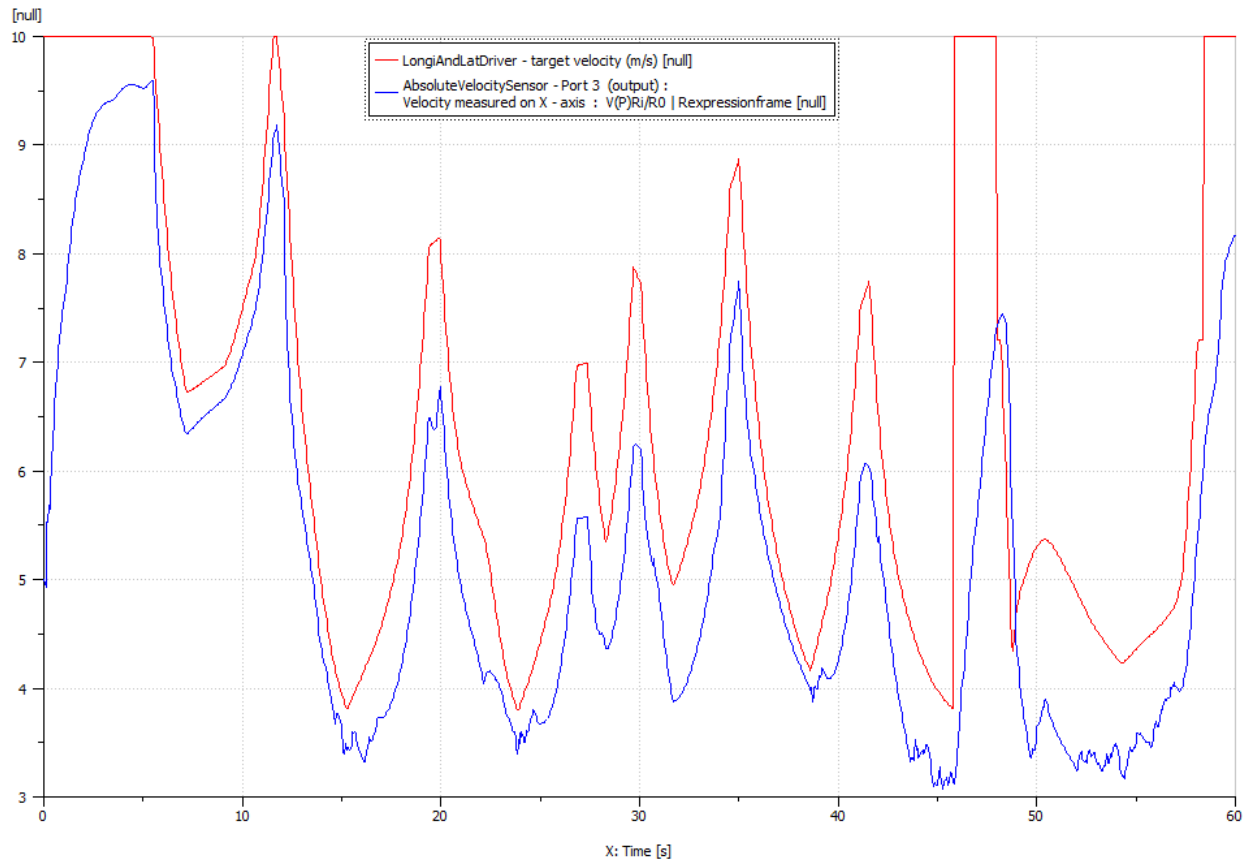
4.19.ábra A bal oldali rugóstag hosszának (Y) változása a kerék függőleges irányú elmozdulása (X1) és a kormányösszekötő elmozdulásának (X2) függvényében, rugózott első felfüggesztés esetén

Látható, hogy igen nagy változásokat okoznak a be és kirugózások, abban az esetben amikor a rugózott felfüggesztés geometriai paramétereit úgy határozzuk, meg mint a merev felfüggesztés esetében. Ennek megfelelően a valóságban mindig szükséges az adott konstrukcióhoz igazodnia a beállításoknak (minden más környezeti befolyásoló paraméter mellett).

A pályakövető modellt futtatva ezek a jelenségen igen erősen jelentkeztek is. Az itt kapott eredmények, tehát ezt az állapotot tükrözik.

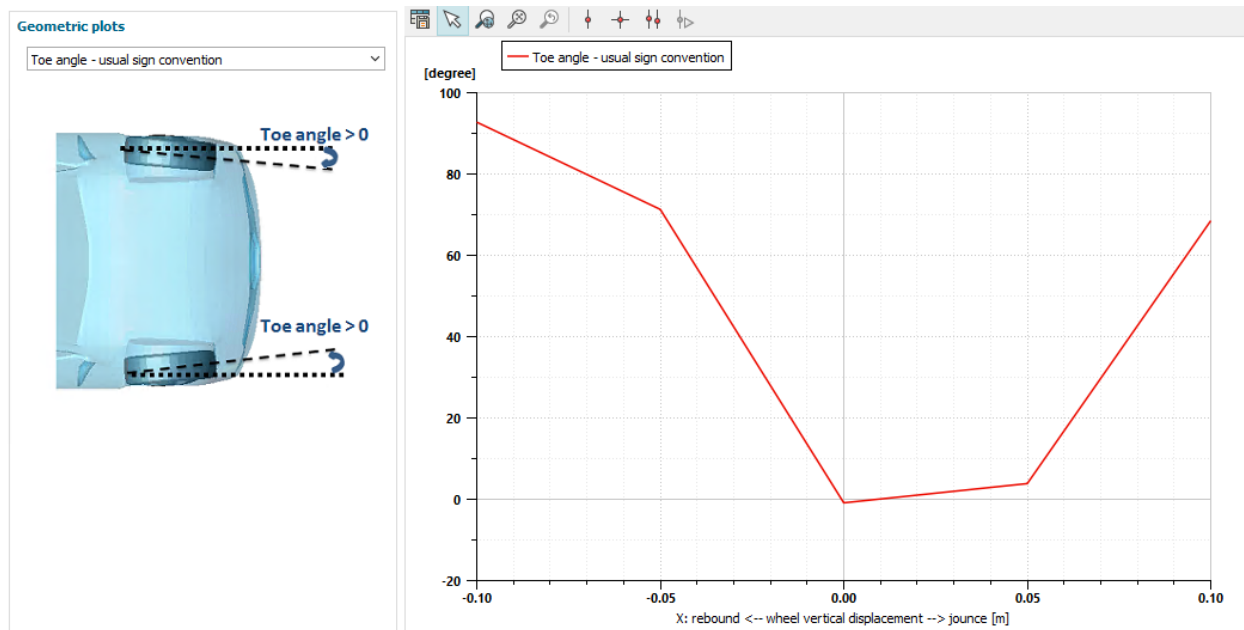


4.20.ábra A pályakövetés eredménye rugózott felfüggesztés esetén (piros vezérelt pálya, kék valós pálya)



4.21.ábra A pályakövetés sebességprofilja rugózott felfüggesztés esetén (piros vezérelt jel, kék valós sebesség)

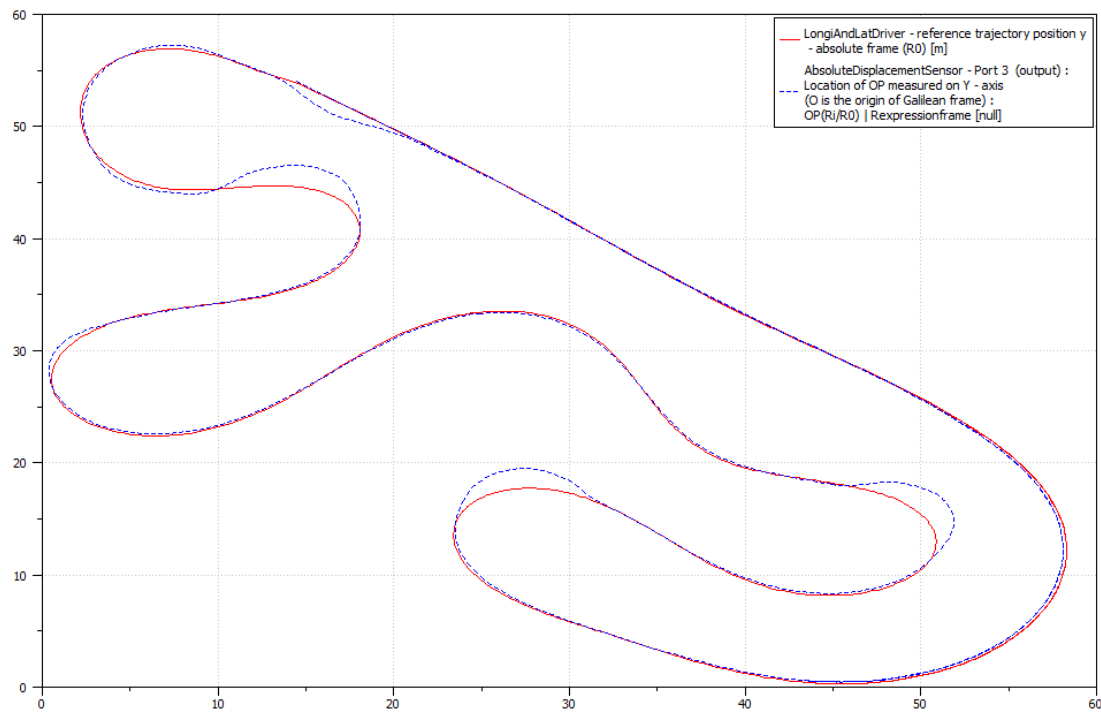
Belátható, a jármű nem volt képes lekövetni a pályát, így a rugózott felfüggesztés hagyományos gokart futóműkialakítással nem ad megfelelő vezethetőséget. Ezt legjobban többek között a következő ábra mutatja be.



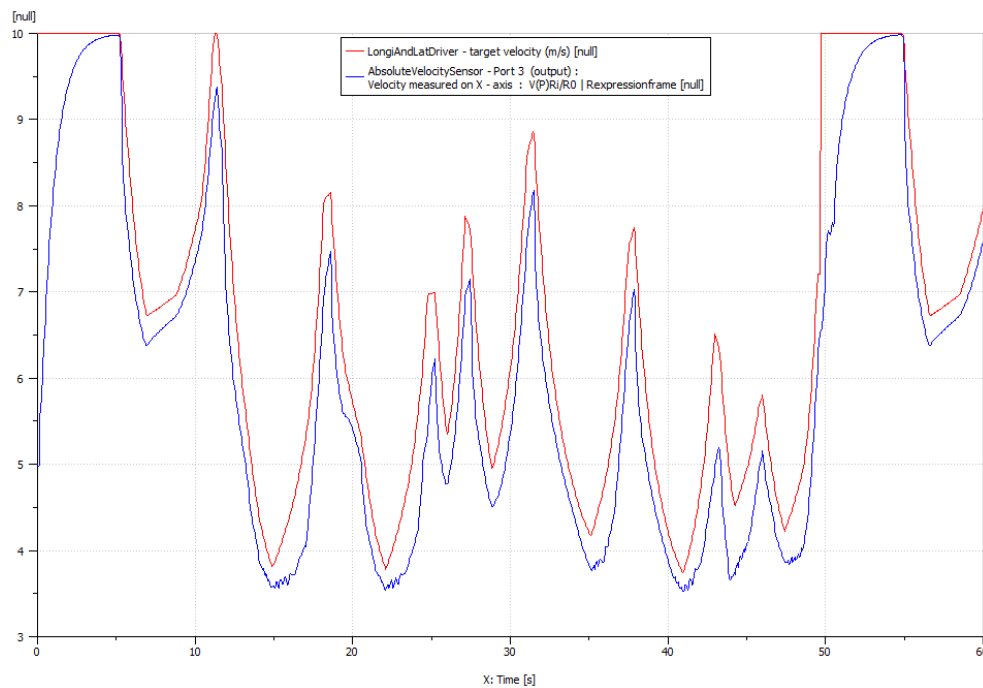
4.22.ábra A kerékösszetartás értéke a kerék függőleges elmozdulásának hatására rugózott első felfüggesztés esetén

Itt megfigyelhető, hogy akár már 100 [mm] berugózás esetén hozzávetőleg 90 fokot ér el a kerékösszetartás értéke. Ez a jelenség ismert a mérnökök előtt, azaz, hogy a berugózás kormányszögváltozással is jár (bumpsteer), ezáltal a jármű vezethetatlenné válik, így ez a konstrukció elvetendő.

A továbbiakban, miután képet kaptam az azonos geometriával rendelkező rugózott és merev felfüggesztés viselkedéséről, megvizsgáltam, miként követi le a pályát egy semleges geometriai beállítással rendelkező rugózott felfüggesztés. Itt, minden geometriai méretet a korábban bemutatottaknak megfelelően használtam, csupán az egyes dőlésszögeket szüntettem meg, vagy mérsékeltem jelentősen. Ezek alapján a következőkre jutottam.



4.23.ábra A pályakövetés eredménye rugózott felfüggesztés esetén (piros vezérelt pálya, kék valós pálya), semleges geometriai beállítással



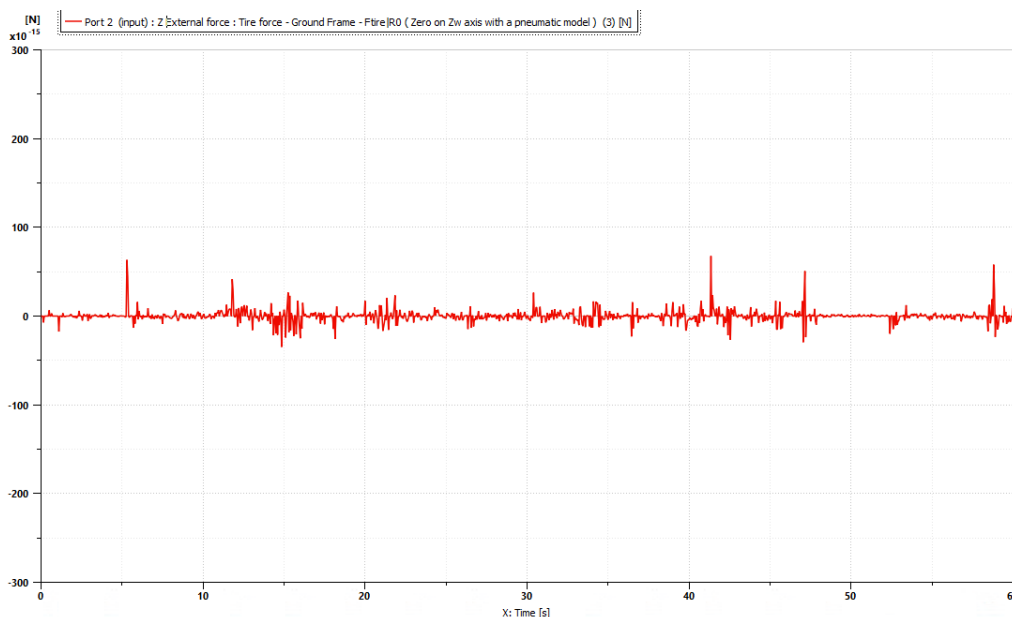
4.24.ábra A pályakövetés sebességprofilja rugózott felfüggesztés esetén (piros vezérelt jel, kék valós sebesség), semleges geometriai beállítás

Látható, hogy az így kapott eredmények szinte teljesen megegyeznek a merevvel kapott eredményeknek. A köridők tekintetében csak kevés eltérés tapasztalható. Megfigyelhető továbbá, hogy a pályát nagyon hasonló módon követi le a merev társához, így valószínűsíthető, hogy a szabályozás finomítása lehet a legnagyobb hatással a jobb pályakövetésre. Emellett természetesen elérhető javulás a rugózott futómű geometriájának változtatásával is, ugyanakkor ez alapos vizsgálatot és számításokat igényel.

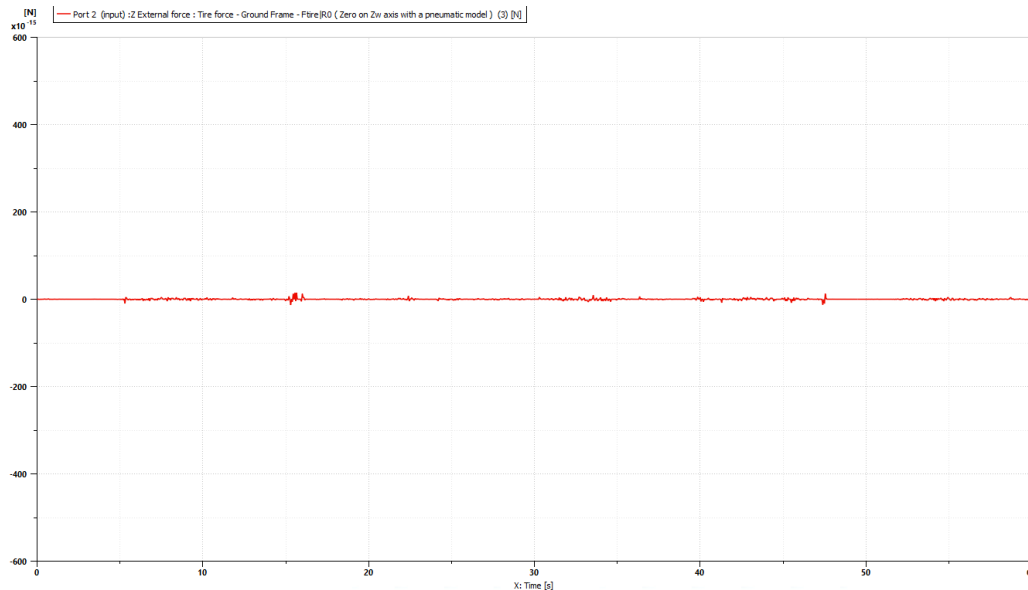
4. Táblázat. Köridő eredmények

Típus	Eredmény
Merev	47,2 [s]
Rugózott	49,7 [s]

Emellett a merev felfüggesztés ugyanabban az időpillanatban (50 [s]) nagyobb sebességre volt képes. Mivel ezek a különbségek adódhatnak számítási hibából is, ezért egy másik vizsgálati szempontot bevezetve is összevettem az eredményeket. A program képes a felfüggesztésre ható erőkomponensek kiértékelésére is.



4.25.ábra Erőkomponens a merev felfüggesztés esetén



4.26.ábra Erőkomponens a rugózott felfüggesztés esetén

Ezek alapján a rugózott felfüggesztés láthatóan csökkenti a közvetlenül a felfüggesztésre ható erőket, így kényelmi funkciót is betöltve. Ez a kényelem sok esetben nem mérhető, csak szubjektíven meghatározható, viszont a versenyzők szempontjából igen fontos. Mindemellett a rugóstag bevonása a jármű szerkezeti elemeire ható dinamikus terhelés csökkentésében is nagy szerepet játszik, hiszen ennek köszönhetően lehetőség van kisebb terhelhetőségű, tömegcsökkentett alkatrészek felhasználására. Ennek következtében pedig akár köridőcsökkenés is elérhető.

Összességében viszont a köridőben jelentkező előny ezt a kényelmi szempontot ellensúlyozza. Ennek megfelelően vannak olyan gokartok, melyek a terepen is képesek haladni, inkább terepen való versenyzésre használják őket. Ott inkább a rugózott, míg az aszfalton való versenyzésre pedig a merev felfüggesztés a javasolt.

V. Összefoglalás

Dolgozatomban megvizsgáltam mekkora hatása van a felfüggesztések jellegének versenykörülmények között üzemelő járművek esetén. Összehasonlítottam egy rugózott és egy nem rugózott felfüggesztést. Ezek alapján elmondható, hogy a két típus között jelentős eltérés van, ugyanis a merev felfüggesztés szolgáltatta előny, nevezetesen, hogy a gokart elemeli az ívbelső hátsó kerekét, ezáltal szükségtelenné teszi a differenciálmű alkalmazását, már nem jelenik meg a rugózott felfüggesztés esetén. A rugózott felfüggesztés legnagyobb előnye, hogy folyamatosan képes (egy bizonyos határon belül) kapcsolatot biztosítani a kerék és a talaj között, ezáltal megnövekedett tapadást létrehozni a merev felfüggesztéshez képest, most hátrányként is jelentkezik, hiszen magával vonja egy differenciálmű beépítésének szükségességét.

Emellett ha a két típus geometriai kialakítása teljesen megegyezik, akkor a rugózás, valamint az extrém szélsőséges szögek miatt a kanyarodás során jelentős mértékben változnak a statikus állapotban meghatározott futómű jellemzők. Ennek hatására a jármű vezetés során kiszámíthatatlan lesz, ami mindenképpen elkerülendő állapot, hiszen a legtöbb baleset nem a folyamatosan fennálló kedvezőtlen menettulajdonságok miatt következik be (pl enyhe alulkormányzottság), hanem a hirtelen átterhelődések, rángatások miatt.

A dolgozatom másik fő témaköre a pályakövetés volt, valamint az erre építő köridőszimuláció. A program által szolgáltatott adatok (sebességprofil...) ez ehhez szükséges legfőbb értékek kinyerhetők (végsebesség, kanyarcsúcsponti sebesség, teljes köridő..). Emellett pedig képes még terheléseket is megadni, akár a hajtáslánc számára, vagy az előző ponttal összefüggésben a fűtőműelemekre. Ez pedig hatalmas előnyt jelenthet a konkurens tervezési folyamatokban, hiszen sokkal jobban párhuzamosítható lesz általa a kezdeti konstrukció meghatározása. Emellett képesek leszünk a konkrét pályára illeszteni a járművünk egyes paramétereit. Ezáltal jelentős előnyre téve szert azokkal szemben akik nem alkalmaznak ilyen típusú szimulációkat.

Úgy gondolom, hogy a dolgozatomban vizsgált téma naprakész, hiszen a versenysportokban napi feladat a köridőszimulációk elvégzése, pontosítása, fejlesztése. Ugyanakkor a dolgozat készítése során felmerültek bennem előremutató fejlesztési lehetőségek a jövőre vonatkozóan. Nevezetesen a modell további szenzorozásával a pályakövetés kiegészíthető az autonóm vezetés illetve ADAS rendszerek vizsgálatához is.

Irodalomjegyzék

[1] http://moodle.autolab.unipannon.hu/Mecha_tananyag/futomu_rendszerek_mechatronikaja/ch02.html Utolsó látogatás: 2021.10.18.

[2] https://mogi.bme.hu/TAMOP/kozuti_jarmurendszerek_szerkezzetana/ch02.html#ch-II.2.4

Utolsó látogatás: 2021.10.18.

[3] https://mogi.bme.hu/TAMOP/kozuti_jarmurendszerek_szerkezzetana/math-ch03.html

Utolsó látogatás: 2021.10.18.

[4] <https://www.instructables.com/How-to-design-and-build-a-go-kart/>

Utolsó látogatás: 2021.10.23.

[5] http://www.packetfilter.com/kartaddict/tech/Chassis_Alignment/frontend_geometry.htm

Utolsó látogatás: 2021.10.23.

[6] Simcenter AMESim programon belüli segítségoldal

[7] <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simcenter/simcenter-amesim.html>

Utolsó látogatás: 2021.10.18.

[8] IPK: *CHASSIS SETUP GUIDE*, 2017

[9] <https://youtu.be/zoIAyljfCmY>