

DIPLOMAMUNKA

Somogyi Attila

Debrecen

2025



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

DRIFT LENGŐKAR TERVEZÉSE BMW
E46 JÁRMŰHÖZ

Somogyi Attila

gépészmérnöki mesterszak termeléstámogató specializáció

Debrecen

2025



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	1
Ábrajegyzék.....	3
Bevezetés.....	5
1 Szakirodalmi áttekintés	6
1.1 Futóművek geometriája:.....	6
1.1.1 Kerékdőlés.....	6
1.1.2 Kerékösszetartás.....	8
1.1.3 Csapteresztés és elkormányzási sugár.....	10
1.1.4 Utánfutás és utánfutási szög.....	13
1.2 Gumiabroncsok	15
1.3 McPherson típusú futóművek	18
1.4 Kormányzás.....	20
1.5 Fogasléces kormánymű.....	22
2 Anyag és módszer	24
2.1 Célok kitűzése, alapfeltételek áttekintése	24
2.2 Összehasonlítás és piac kutatás.....	26
2.2.1 Gyári lengőkar.....	26
2.2.2 Verseny felhasználású lengőkarok különböző gyártóktól.....	27
2.2.3 Összehasonlítás	29
2.3 Saját modell készítés	30
2.3.1 Előzetes modell	30
2.3.2 A használt tervező szoftver	33
2.4 Számítások a megfelelő mérethez.....	34
2.4.1 Átterhelődés számítása.....	34
2.4.2 Kormánynyomaték számítása	35
2.5 Terhelés szimuláció.....	38

2.6	Anyagválasztás és gyártás.....	42
2.6.1	Számítások és szimulációk elemzése és az anyagválasztás	42
2.6.2	Gyártás	43
3	Eredmények és azok értékelése.....	44
4	Következtetések és javaslatok.....	46
5	Összegzés	47
	Irodalomjegyzék.....	48

Ábrajegyzék

1. ábra: Pozitív kerékdőlés ábrázolása a ráható erővel [6]	6
2. ábra: Kerékdőlés-változás ki- és berugózás esetén [19]	7
3. ábra: Kerék-összetartási szög [6]	8
4. ábra: Virtuális kormányzási tengely [19]	10
5. ábra: Elkormányzási sugár [19]	12
6. ábra: Kerekek ET értéke [17]	12
7. ábra: Utánfutás és utánfutási szög [19]	13
8. ábra: Utánfutás és utánfutási szög eltolása [19]	14
9. ábra: Utcai és verseny gumiabroncsok [24]	15
10. ábra: Kanyarmerevség különböző oldalerők és csúszási szögek mellett [18]	17
11. ábra: Normálerő hatása a tapadási együtthatóra [18]	17
12. ábra: McPherson típusú futómű [22]	19
13. ábra: Személygépjárművek kormány rendszere [23]	21
14. ábra: Alul- és túlkormányozottság [25]	22
15. ábra: Az Opel Corsa (1997) fogaslécés kormánya. Jól felismerhetők az oldalt a fogaslécra csavarozott nyomtávtartók axiális csuklói (4) és a tömítő harmonikák (5). Ahhoz, hogy a kerékösszetartás beállításakor (ami a tömör anyagból készülő középső rész elforgatásával történik) ezek ne zavarjanak, a bilincsek (6) meg lazítása szükséges. A kis fogaskerék (1) a nagy áttétel miatt ferde fogazású, és lent tűgörgős csapágy (2) vezeti. A csapágyházat záró fedéllel látták el a szerelés megkönnyítése és a szennyeződés behatolásának megakadályozása érdekében. [6]	23
16. ábra: Drift közbeni túlkormányzott állapot [Saját forrás]	25
17. ábra: BMW E46 erősített első lengőkarok, Meyle HD típusú utángyártott alkatrész [26]	26
18. ábra: Wisefab drift lengőkar készlet [27]	28
19. ábra: Drift lengőkar elsődleges 3D modell [Saját forrás]	31
20. ábra: Saját tervezésű tengelycsonk [Saját forrás]	32
21. ábra: Átterhelődés számítás kiegészítő ábra [17]	35

<i>22. ábra: Elkormányzási nyomaték számolás kiegészítő ábra [19]</i>	<i>37</i>
<i>23. ábra: Terhelés szimuláció paraméterek [Saját forrás]</i>	<i>38</i>
<i>24. ábra: Szimulációs tömegcsökkentés [Saját forrás]</i>	<i>39</i>
<i>25. ábra: Terhelés szimuláció [Saját forrás]</i>	<i>40</i>
<i>26. ábra: Lengőkar méretei [Saját forrás]</i>	<i>41</i>
<i>27. ábra: Végleges terhelés szimuláció eredmény [Saját forrás]</i>	<i>44</i>

Bevezetés

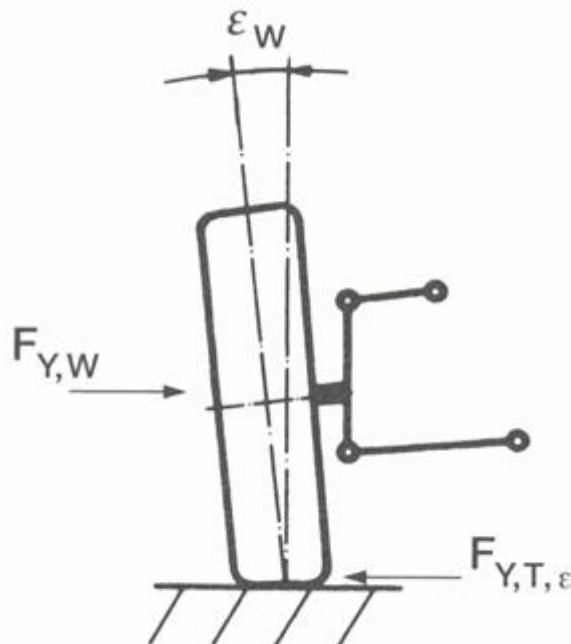
A téma egy drift lengőkar tervezése egy BMW E46 coupé típusú gépjárműhöz. Elsődlegesen magát a drift-et, mint a versenysportot szükséges megismerni, hogy pontos képet kapjunk arról milyen gépjármű szükséges ehhez a szakághoz. A drift egy olyan motorsport-ág, melyben a pilóták nem az idő ellen versenyeznek, hanem a látványosságra törekcszenek. A pilóták szándékosan túlkormányzott állapotban vezetnek a versenyautót a kontroláltságra törekedve. A verseny értékelése szubjektív módon történik versenybírók által. Az értékelésben több szempontot vesznek figyelembe, mint például a látvány, stílus, sebesség, pontosság (érintési zónák vannak, melyeken át kell haladni az előírt módon) és a haladási szög. A drift Japánból származik, ahol az 1970-es és 1980-as években az utcai autózásból nőtt ki magát és az első hivatalos bajnokság 2000-ben volt szintén Japánban. A motorsport ezen részében a hátsókerék-meghajtású gépjárművek hódítottak teret, ugyanis ezzel a típusú hajtással lehet megvalósítani a kontrolált túlkormányzottsági állapotot. Az autóknek további átalakítása szükséges az eredményesség érdekében. Legfőbb adottság, ami szükséges, az egy erős motor, aminek a karakterisztikája képes szinte a maximális forgatónyomatékot már alacsony fordulatszámra átadni a hajtáslánc többi tagjának. A hajtásláncnak képesnek kell lennie kibírni az extrém terhelést, ami menetközben hat rá. Továbbá elengedhetetlen egy differenciál zár, ami biztosítja a két hátsó meghajtott kerék azonos szögelfordulását. A futómű többi tagja is eltér az utcai járművekben használatos társaiktól. Módosított lengéscsillapítók biztosítják a menetstabilitást még ilyen nem megszokott haladás közben is. A gépjárműnek ezen felül a biztonsági- és versenyfeltételeknek is meg kell felelnie. A következőkben egy fő módosítás menetét és megvalósítását fogjuk végig követni, ami nem más, mint az első futómű optimalizálása drift körülményekre, azon belül is a fő hangsúly a lengőkarok módosításán, tervezésén és gyártásán lesz.

1 Szakirodalmi áttekintés

1.1 Futóművek geometriája:

1.1.1 Kerékdőlés

A kerékdőlés pontos meghatározását a DIN 70000 szabvány szerint értelmezzük, ami pontosan meghatározza, hogy a kerékdőlés a kerék középsíkja és az útpályára állított merőleges által bezárt szög. Pozitívnak vesszük, ha a keréksíkja az útra állított merőleges bal oldalára esik, ellenkező esetben negatívnak tekintjük. Személygépjárművek esetében utasok számától és terheléstől függően minimális pozitív dőlést alkalmazunk azáltal, hogy a kerékdőlés be- és kirugózás közben változhat. A berugózás közben a kerékdőlés negatív irányban, míg kirugózás közben pozitív irányba változhat. A modern felfüggesztések már minimalizálták ezt a fajta torzulást annak érdekében, hogy a kerék síkja egybe essen az útpályára állított merőlegessel az abroncsok egyenletes kopása és a kisebb gördülési ellenállás érdekében. [6]

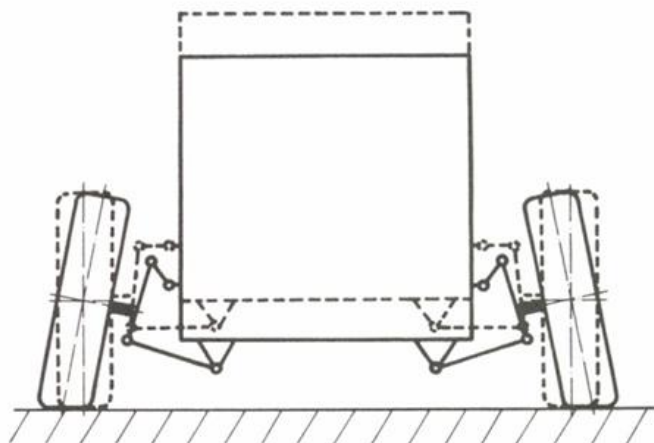


1. ábra: Pozitív kerékdőlés ábrázolása a ráható erőkkel [6]

Az ábrán látható esetben a kerék balra gördülne a $F_{Y,T,\varepsilon}$ kerékdőlési oldalero hatására, ha a $F_{Y,W}$ ellenerő nem térítené vissza az egyenes irányba. Az ábra alapján a megfelelő kerékdőlés $\varepsilon_W=5'-10'$ között, azaz kb 0.1° lenne. [6]

Ezzel szemben a nagyteljesítményű személygépkocsiknál és versenyautóknál negatív kerékdőlést alkalmaznak mind az első, úgy a hátsó kerekeken is. Az ok amiért ezt a fajta beállítást alkalmazzák az az, hogy a kanyarodás közben fellépő oldalero ellenében a negatív kerékdőlés jobban viselkedik és ezáltal nagyobb oldalero képes elviselni. Más követelmények lépnek életben egyenes haladás és kanyarodás közben. A cél optimalizálni ezeket és kompromisszumot kell kötni. A modern futómű megoldások már biztosítják a menet közbeni „intelligens” szabályozást a legbiztonságosabb haladás érdekében. A nem szabályozott futóművek estében a konstruktőr veszi ezeket figyelembe és kompromisszumot köt. [3]

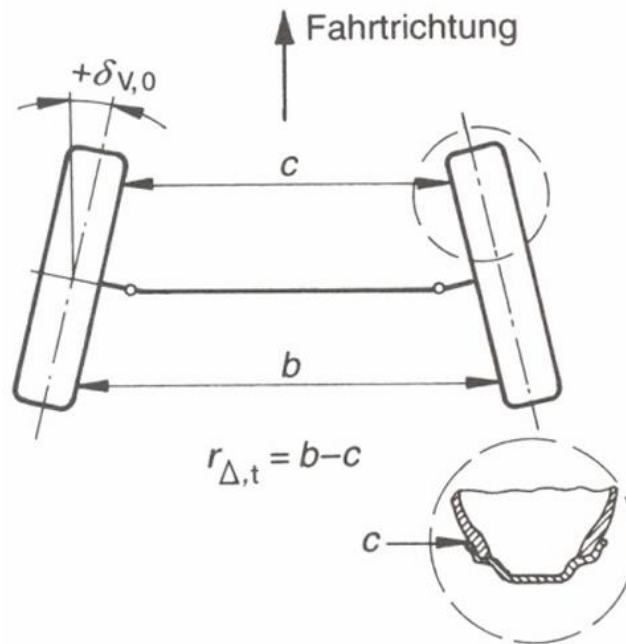
A haladás közbeni változásokat kinematikai kerékdőlés-változásnak is nevezik. A be- és kirugózás és a kanyarodás közben fellépő átterhelődés és az emiatt kialakuló be-, illetve kirugózás is hatással van a kerékdőlésre. A független kerékfelfüggesztés miatt kanyarodás közben a kerék dől a karosszériával együtt. A külső íven haladó kerekre az átterhelődés miatt nagyobb szerep jut. A terhelés közben a kerék síkja a talajra állított merőlegeshez képest pozitív irányban dől és ezáltal csökken az abroncs oldalvezetése. Ennek kiküszöbölésére alkalmazzák azt a megoldás formát, hogy berugózás esetén a kerék negatív dőlést vesz fel, míg kirugózás esetén ez az érték pozitív. Fontos még, hogy mindkét keréknél egyforma legyen ez a kerékdőlés. [8]



2. ábra: Kerékdőlés-változás ki- és berugózás esetén [19]

1.1.2 Kerékösszetartás

A kerékösszetartásról a DIN 70000 szabvány rendelkezik, ami meghatározza, hogy a kerék-összetartási szög a gépjármű hosszanti középsík, illetve a jobb és baloldali kerék középsíkjának és az út síkjának metszése között kialakuló szög. [6]



3. ábra: Kerék-összetartási szög [6]

A kerékösszetartás szokványosabb módon a

$$r_{\Delta,t} = b - c \text{ [mm]}$$

képlettel adják meg. Ahol a b a kerék hátsó részének a távolsága, míg a c a kerék elején mért távolság. Az eredmény pozitív értéket vesz fel, ha a kerék hosszanti érintői egymás felé tartanak ellenkező esetben negatív. Az első esetet kerékösszetartásnak, míg a másodikat kerékszéttartásnak nevezzük. Mint a kerékdőlésnél itt is alapvető, hogy a két keréknél ez az érték egyforma legyen. A kerékösszetartás mindig egyenesbe állított kormányval és a jármű terheletlen állapotában kell mérni és beállítani. [6]

A kerékösszetartás menetközben több befolyásoló tényezőtől is függ. Elsősorban a kerekek teljesen egyenes futása a leggazdaságosabb üzemanyag fogyasztás szempontjából és a legkisebb gördülési ellenállás érdekében. Különbség van a beállítási paraméterek között, ha változik a hajtott kerek száma vagy pozíciója. Ez alatt az értjük, hogy egy elsőkerék-hajtásnál a fellépő nagyobb terhelés az első

kereken próbálja a kerekeket összenyomni. A kerékösszetartás beállításakor fontos ezt figyelembe venni, hogy sem gázadáskor sem gázelvételkor nem veszíthetünk a menetstabilitásból. A haladás közben fellépő erők hatására a hézagok elmozdulnak a szilenteknél deformáció lép fel. Ezek együttes hatására jön létre az elasztokinematikai jelenség. Fontos, hogy az erők hatására a geometriai paraméterek csak olyan irányban mehetnek el, mely alulkormányzottságot okoz. [11]

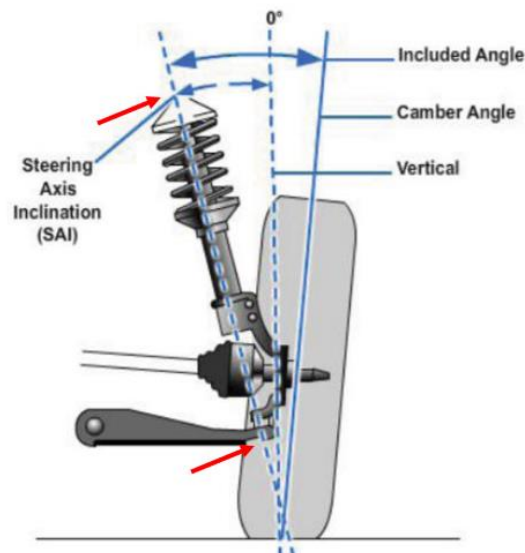
A futómű beállításának fő célja, hogy biztosítja a haladás közbeni a stabil úttartást. Személyautók majdnem mindegyikénél az első tengelyen vannak a kormányzott kerekek. A kormánymű és annak elemei miatt adódhat holtjáték és az útpálya egyenletlenségei is eltéríthetik a kerekeket. Ennek kiküszöbölésére alkalmazzák a kerékösszetartást, ami kényszerített pályára helyezi az abroncsokat és ezáltal stabilabb előrehaladást biztosít. A kényszerített pályás futás az abroncsokra erőhatásként lép fel, mellyel szemben annak oldaltartásból ellen kell állnia. Túlzott kerékösszetartás vagy túlzott kerékszéttartás esetén az abroncsok külső széleinél a futófelület kopása jelentősen megnő. Továbbá növeli a gördülési ellenállást, így a tüzelőanyag fogyasztást is. Hátsó tengelyek esetében a kerékösszetartás növeli a kanyarstabilitást és a nyomkövetést, amely stabilabb vezethetőséget biztosít. A kerékösszetartás értéke az első és hátsó tengelyeken is befolyásolja a jármű viselkedését kanyarodás közben. Nem megfelelő paraméterekkel a jármű könnyen alulkormányozott állapotban kerül, míg másik esetben pont az ellenkezője következik be és túlkormányzott lesz. Ezeket minden esetben kerülni kell, ugyanis az átlag felhasználók nincsenek felkészülve, hogy ilyen esetben mit kell tenni a járművel az esetleges megcsúszás vagy baleset elkerülése érdekében. [4] [15]

A futómű beállítását ezért végzik egy erre kitalált precíz mérőberendezéssel a futómű beállító paddal. Manapság lézer technológiát alkalmaznak a minél nagyobb pontosság elérésének érdekében. A pad pontos értéket ad a jármű futóművének szinte minden értékéről és szögéről is. Azért szükséges több elemet egyszerre vizsgálni, ugyanis ezek együttese adja a jármű teljes stabilitását. Ezek a paraméterek gyártómként és típusokként is eltérő lehet, így a gyártó által előírt beállításokat szükséges alkalmazni. [5]

Elsőkerékmeghajtású járműveknél fontos még figyelembe venni a torque steering jelenséget, amely gyorsításkor léphet fel. A jelenség akkor lép fel, ha nagyobb teljesítményű személyautóval hirtelen gyorsításba kezdünk és az eltérő hosszúságú féltengelyek a motor forgatónyomtékát nem egyforma erőhatásokkal adja át a két első hajtott kerékre és ennek következtében a jármű kitör az egyik irányba. A gyártók ennek kiküszöbölésére különböző technológiákat alkalmaznak. [22]

1.1.3 Csapterpesztés és elkormányzási sugár

A csapterpesztés alatt az a szöget értjük, amely a kormányzási tengely és az útra állított merőleges sík bezár a jármű hosszanti vizsgálata során. A kormányzási tengely lehet valóságos és virtuális is. Valóságos elkormányzási tengelyről akkor beszélünk, ha a kerék egy tényleges csap körvonalában fordul. Innen ered a csapterpesztés és csapegeometria kifejezés. Az elfordulási tengely különböző felfüggesztések esetében változik. Tényleges elfordulási csapot manapság már csak nagyobb járművekben, mint például teherautók és buszoknál alkalmaznak. Személyautók esetében a több különböző esetet kell vizsgálni. Kettős lengőkaros felfüggesztés esetén ezt az elkormányzási tengelyt a csonkállványhoz kapcsolódó lengőkarhoz kapcsolt gömbcsuklók adják. A két gömbcsukló középpontját összekötő egyenes adja a kormányzási tengelyt. McPherson futómű esetében ez a tengely a lengőkar kerékfelőli gömbcsuklójának és a váznál bekötött rugóstag toronycsapágójának középpontját összekötő egyenes. Több lengőkaros, multilink felfüggesztések esetében a lengőkarok gömbcsuklóinak és a csonkállvány momentán középpontjai az egyenes végpontjai. Ebben az esetekben a kormányzási tengely virtuális. [11]

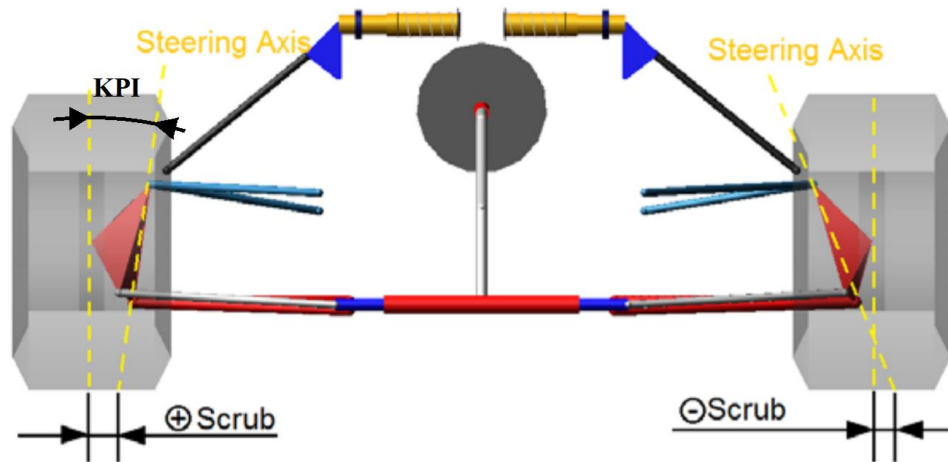


4. ábra: Virtuális kormányzási tengely [19]

Azáltal, hogy a kerékdőlést közvetlenül befolyásolja a csapterpesztés a kerékdőlés kompenzációját is lehetővé teszi. Gyártás és tervezés során lehetséges ezen értékek módosítása a későbbiekben erre a legtöbb esetben nincs lehetőség. A csapterpesztést változtatni a bekötési pontok áthelyezésével vagy a nyomtáv megnövelésével lehetséges. McPherson futómű esetében a rugóstag sokszor csavarkötéssel van rögzítve a csonkállványhoz és itt adódik egy állítási lehetőség, ha a gyártó excentrikus csavarokat alkalmaz. Ezen csavarokkal lehetséges az utólagos kerékdőlés korrekció. Bár legtöbb esetben ezek normál csavarok, így nem lehetséges az állításuk. Kettős lengőkar esetében a vázfelőli felfogatásuk határozza meg, hogy lehetséges-e az állításuk. A gyártók törekszenek a pozitív csapterpesztésre, ugyanis ez javítja a kormányzási érzetet és stabilabb vezetést eredményez. A visszacsatolás az útfelületről is pontosabb és a kerék egyenesbe állását is segíti. Túl nagy pozitív csapterpesztés esetén már megnő a kormányzási ellenállás és terhelést fejt ki a kormányzásért felelős alkatrészekre. A megfelelő pozitív csapterpesztési szög mellett nő a jármű kanyarstabilitása, ugyanis ezzel egyidejűleg az ív külső kereken negatív kerékdőlés lép fel, mely növeli az oldalerőt és ezáltal az abroncs tapadását is. Ez az eset különösen fontos nagyobb teljesítményű személyautók esetében. [14]

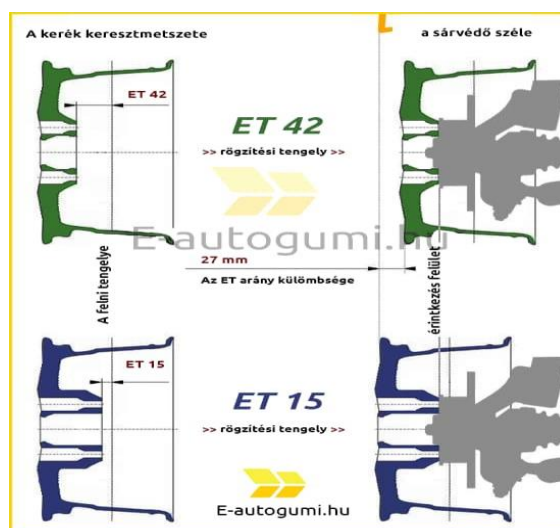
Az elkormányzási sugarat a kerék és az út érintkezési felületének középpontjának és az elkormányzási tengely talajra vett dőléspontjának távolsága adja. Ez lehet akár pozitív értékű vagy negatív is. A sugár helyzetét és méretét főként az elkormányzási tengely elhelyezkedése és szöge befolyásolja. [19]

Manapság a gyártók törekszenek közel nulla vagy inkább negatív elkormányzási sugarat létrehozni. Ennek több oka is van. A pozitív sugár esetében közvetlenebb a kormányzás és ezáltal jobb visszacsatolás érkezik az útpályáról. Az elkormányzási sugár az erőkarja annak a forgatónyomatéknak, ami a kerékre hat a menetközben fellépő hosszanti erők következtében. Túl nagy erőkar esetén zavaró lehet a sofőr számára és veszít a jármű a stabilitásából is. Sportos vezetési élmény biztosít a pozitív elkormányzási sugár, ugyanis jobban érzékelhetőek az esetleges úthibák, nyomvályúk és az eltérő fékhatás különbségek is. Ezzel szemben a negatív sugár kevésbé adja át a fékezés és gyorsításkor fellépő erőhatásokat, ezáltal biztonságosabb és stabilabb menetdinamikát biztosít. Kényelmesebb és biztonságosabb egyenesfutást eredményez a közel nullás vagy negatív elkormányzási sugár. [3]



5. ábra: Elkormányzási sugár [19]

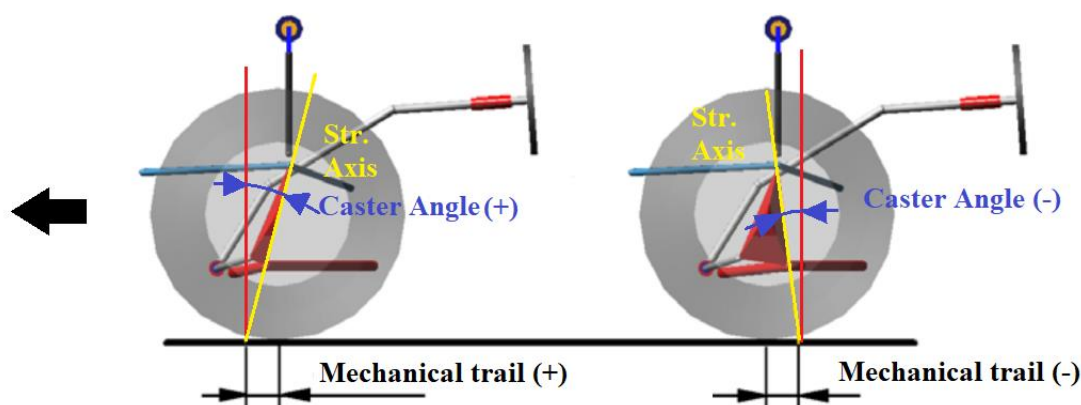
Az elkormányzási sugár kialakulása több befolyásoló tényezőtől is függ és azok összesége határozza meg a sugár mértékét. Ezek egyike a csapterpesztést, melyről korábban beszéltünk és annak különböző eseteiről is. A kerékdőlés is egyike ezen tényezőknek, mely szintén nagy szerepet játszik a menetdinamikában mind egyenes mind kanyarmenet esetében. További befolyásoló tényező még a nyomtáv is és ehhez kapcsolódóan a kereke ET száma is. A kerekek ET száma az a távolságot határozza meg, hogy a kerék felfogatási pontja milyen távolságban van a kerék középpontjától. Ezt a távolságot gyakran egy közdarabbal, egy úgynevezett nyomtávval szokás megváltoztatni, mely az eltolással plusz terheléseket ad a futómű egyes elemeire, illetve a nyomatékok erőkarjait is megnöveli. Utcai körülmények között ez szigorúan tilos és a törvény is tiltja az ilyesfajta átalakítást. [12]



6. ábra: Kerekek ET értéke [17]

1.1.4 Utánfutás és utánfutási szög

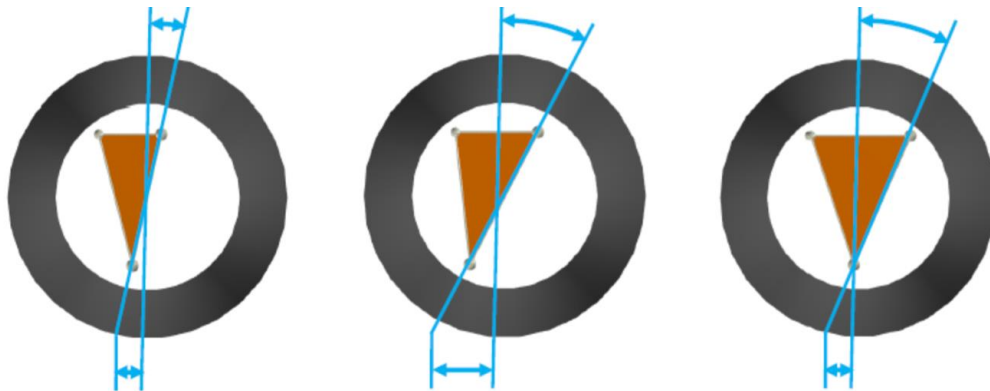
Az utánfutás kormányzási tengely talajra vetített dőléspontja és a kerék futófelületének és útpályának az érintkezési felületére állított merőleges távolsága oldalnézetben. Ez a sugár az erőkarja annak a forgatónyomatéknak melyet az oldalerők kifejtene a kerékre. Ez mechanika utánfutásnak is nevezzük, angolul mechanical trail. Az utánfutási szög a kormányzási tengely és az érintkezési pontban állított merőleges sík adja oldalnézetben. Az utánfutás és az utánfutási szög értéke is lehet akár pozitív és negatív is. [3]



7. ábra: Utánfutás és utánfutási szög [19]

Az utánfutás értéke több tényezőt is befolyásol a menetdinamikában és ezért jelentős hangsúlyt szükséges ráhelyezni. Hatással van az egyenesfutásra és a kanyarodásra, a kormányt visszatérítő nyomatéokra, a menetstabilitásra és a biztonságra is egyaránt. Napjainkban a gyártók általában pozitív utánfutást alkalmaznak a kényelmes kormányzás és stabil egyenesfutás érdekében. Korábban alkalmaztak néhány jármű esetén negatív utánfutást annak érdekében, hogy a kormányzás nehézségét szervó rásegítés nélkül csökkentsék. Ebben az esetben nagy sebességnél instabillá vált a jármű, ugyanis a pozitív utánfutás esetén az oldalerőből keletkező nyomaték a kerekeket egyenes állásba téríti vissza, ellenkező esetben kifelé próbálja téríteni azokat. Túl nagy utánfutás esetén szintén megnövekedik az elkormányzási nyomaték a megnövelt erőkar miatt. Ez a növekedés hatással van a kormányzást végző alkatrészekre és a nagyobb terhelés miatt csökken az élettartamuk. Túl kicsi utánfutás kevésbé biztos vezetést és instabilitást okoz. A gyártók ezért törekszenek kompromisszumot kötni és figyelembe venni a menetstabilitást és az alkatrészek terhelését is, illetve azok élettartamát is szemelőt tartva a tervezés során. [5]

Az utánfutási szög értéke szintén jelentős befolyással bír a kanyarodás közben kialakuló terhelések és dinamikai tényezők kialakulásában. Kanyarodás közben fellép egy emelő erő a kormányzási tengely vonalában, ami az utánfutási szög következménye. Az emelő erő csökkenti az elkormányzáshoz szükséges erőt, így komfortosabbá téve a vezetést. Az utánfutási szög a kormányzási tengely és az utánfutás összességében alakul ki. A gyártók gyakran alkalmaznak nagyobb pozitív csapterpesztést a komfortosabb vezetés érdekében és az ezzel együtt bekövetkező nagyobb erőhatásokat a szervó rásegítéssel kompenzálják. Növekvő utánfutás és utánfutási szög esetében nehezebb a lassú tempónál való kanyarodás, viszont nagy sebességű kanyarodások esetében extra stabilitást nyújt. Ez az oka, hogy nagy teljesítményű utcai autók és versenyautók esetében ezt alkalmazzák és a komfortot háttérbe szorítják. [2]



8. ábra: Utánfutás és utánfutási szög eltolása [19]

Az utánfutás és az utánfutási szög mértéke nem feltétlenül egyenesen arányos egymással. Eltolás alkalmazásával lehetséges nagy utánfutási szög kialakítása kicsi utánfutás mellett, vagy akár fordítva is. [19]

A gyártók figyelembe veszik ezeket a szempontokat és felhasználástól függően kompromisszumot kötnek. A komfort és a stabilitás a két fő szempont, amit szem előtt kell tartani. Kisebb városi személyautók esetében kisebb utánfutást és utánfutási szöget alkalmaznak a kényelmesebb vezetési élmény érdekében. SUV-ok és terepjárók esetében nagyobbak ezek az értékek a nagyobb tömeg és a magas súlypont miatt. Nagyteljesítményű sport autók esetében szintén nagy utánfutást alkalmaznak a stabilitás érdekében. A modern szervó rásegítésekkel képesek a gyártók nagy stabilitást elérni a komfort romlása nélkül. [10]

1.2 Gumiabroncsok

A gumiabroncsok hozzák létre a közvetlen kapcsolatot a jármű és az útpálya között. Az abroncsokon keresztül érintkezik a jármű a talajjal, ezáltal jelentős szerepet tölt be a jármű menetdinamikájában, stabilitásában és teljesítményében. A gumik gyártása során több tényezőt is figyelembe kell venni és felhasználástól függően bizonyos tényezőket ki kell emelni. Általánosságban a kopásállóság, hőmérsékletváltozással szembeni ellenállóság, stabilitás és a vízelvezető képesség amire hangsúlyt fektetnek a gyártók. Rengetek különböző gyártó és számtalan abroncs típus létezik. Az abroncsok hatalmas fejlődésen mentek keresztül az elmúlt évtizedekben és ma már utcai felhasználásra is lehetséges remek tulajdonságokkal rendelkező abroncsot vásárolni gazdaságosan. Fontos elkülöníteni az utcai és a verseny körülmények között használt gumikat. A két kategória más szempontokat részesít előnyben. Az utcai abroncsok rugalmasabb felhasználást biztosítanak, szélesebb tartományban alkalmazkodnak a körülményekhez. Eltérő hőmérsékletek esetén is biztosítják a tapadást, kevésbé érzékenyek a változó útviszonyokra és nagyobb kopásállósággal is rendelkeznek. A verseny abroncsok ez meghatározott hőmérsékleten működnek a legoptimálisabban. [3]



9. ábra: Utcai és verseny gumiabroncsok [24]

Utcai abroncsokat széles felhasználási területre tervezik és gyártják. Ellenállnak a különböző útviszonyoknak, nem érzékenyek a hőmérséklet ingadozásra és az élettartamú is tartós használatra és több évre tervezik. A gumikeverék kialakításában főbb szempontok a kopásállóság, hőmérséklet ingadozás tűrés, nedves tapadási tulajdonságok és az alacsony gördülési ellenállás a gazdaságos tüzelőanyag felhasználás érdekében. Széles hőmérséklet tartományban biztosítanak megfelelő tapadást és nem igényelnek előmelegített üzemi hőmérsékletet. A

keverék menetközben kevésbé melegszik fel, mely az élettartamához hozzáad, ugyanis a nagy hőmérséklet ingadozás károsítja az abroncsot. Tapadási tényezőjük általánosan 0,85-1,1 értéket biztosít, mely tökéletes a felhasználási körülményekhez. A futásteljesítményük elérheti az akár 30-50 ezer kilométert is. Biztosítják a zajkomfortot is. Általában kopásjelzőkkel is ellátják az abroncsokat a pontosabb állapotfelmérés érdekében. Erősített oldalfallal és defekttűrő képességgel is ellátják a gumikat a stabilitás és megbízhatóságért. [4]

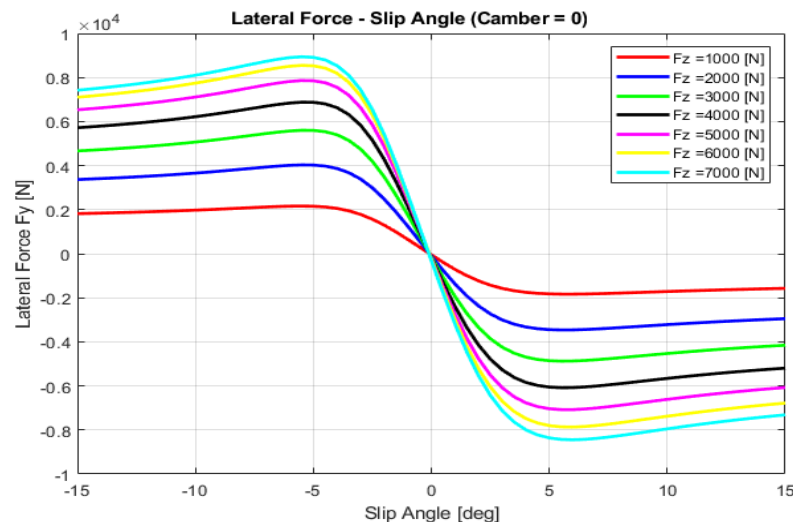
A verseny felhasználású abroncsok egy bizonyos hőmérséklet tartományban képesek teljes tapadást biztosítani. A hőmérséklet tartomány értéke abroncsenként eltérhet, de általában 60-110 Celsius fog között a legoptimálisabb. Ezen a tartományon kívül az abroncs jelentős tapadás veszteséssel üzemel. Az alkalmazott lágy keverék gyorsan melegszik, hogy az optimális hőmérsékletet elérje. Felületük barázda minta mentes, vagy csak enyhén barázdált a maximális tapadó felület érdekében. Az abroncsok erősített oldalfallal rendelkeznek ezáltal nagyobb ellenállásuk van az oldalerőkkel szemben, nagyobb az oldalmerevségük és kevesebb a deformációs energiavesztés. Magas súrlódási tényezővel rendelkeznek, melyet az üzemi hőmérsékleten éri el. Ez az érték általában 1,7-2,4 körül mozog. A menetközben keletkező hő hatására a gumi lágyul és képes az útpálya érdes felületéhez nagyobb mértékben kapcsolódni. Üzemi hőmérsékleten kívül az abroncs rideg és nem képes a tapadást biztosítani. A lágy gumikeverék miatt ezek az abroncsok gyorsan kopnak és rövid az élettartamuk. A gumik általában néhány száz kilométert vagy pár kört bírnak és cserélni kell őket. A nagymértékű hőmérséklet ingadozás következtében az abroncsok gyorsan öregednek. A jelentős kopás tapadás veszteséssel jár. [1] [5]

Az abroncsok egyik fontos tulajdonsága az úgynevezett kanyarodási merevség, angolul cornering stiffness. A kanyarodási merevség azt határozza meg, hogy az abroncs mekkora mértékű oldalerőt képes generálni bizonyos csúszási (slip angle) mellett. [18]

Az utcai abroncsok oldal merevsége alacsonyabb a kényelmesebb vezetés érdekében. Az alacsony érték következtében nagyobb slip angle mellett képesek elérni a tapadási csúcspontot, viszont kiszámíthatóbb vezetést biztosít. Esetleges megcsúszás esetén progresszív csúszást biztosít. A komfortos menetdinamika érdekében kisebb oldalgyorsulást eredményez. Az alacsonyabb cornering stiffness érték a rugalmasabb abroncsból, a barázdált felület deformációja és a keményebb gumikeverék következtében áll elő. [3]

A versenyabroncsok oldalmerevsége jelentősen nagyobb az utca társaikkal szemben. A merevebb karkasz és oldalfal következtében és a felületi barázda hiányában kevesebb a deformáció. A magas cornering stiffness-nek köszönhetően

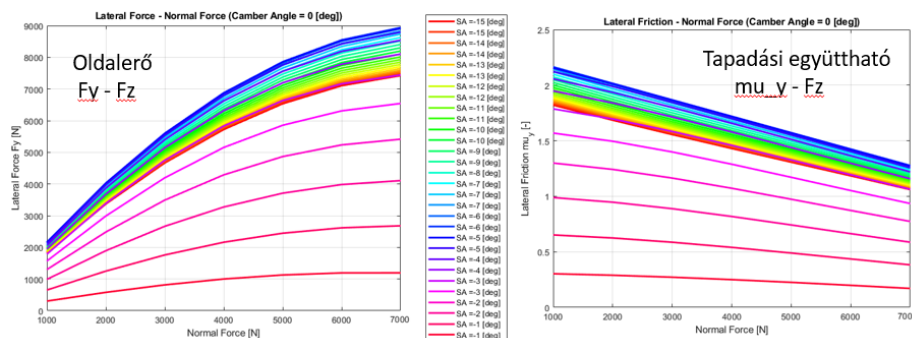
már kisebb slip angle mellett elérhető a tapadási csúcspont. Közvetlenebb és nagyobb mértékű kanyarodás biztosít teljes stabilitás mellett. Agresszív vezetés mellett is képes teljes tapadást biztosítani a merevség és nagy oldalerők következtében. [1]



10. ábra: Kanyarmerevség különböző oldalerők és csúszási szögek mellett [18]

Az ábrán látható értékek nem csak az abroncs tulajdonságaitól függ. Befolyásoló tényező még a futómű geometriájának beállított értékek úgy, mint a kerékdőlés, csapterpesztés, utánfutás. A hőmérsékelt és az abroncs nyomásai is befolyásolja a karakterisztikát, továbbá a felni is amire az abroncsot szerelik és az útpálya is. [18]

Az abroncsok degresszív karakterisztikát mutatnak a normál erő növekedésére. Ez annyit jelent, hogy a növekvő normál erő esetén kevésbé növekszik a hosszanti- és oldalerők nagysága. Ennek következtében nagyobb normálerő esetén csökken a tapadási együttható. Ez angolul load sensitivity-nek nevezzük. A normál erő a jármű súlyából és az átterhelődésekből adódik, és a keréktalppont és az útpálya érintkezési felületén ébred függőleges irányban. [18]



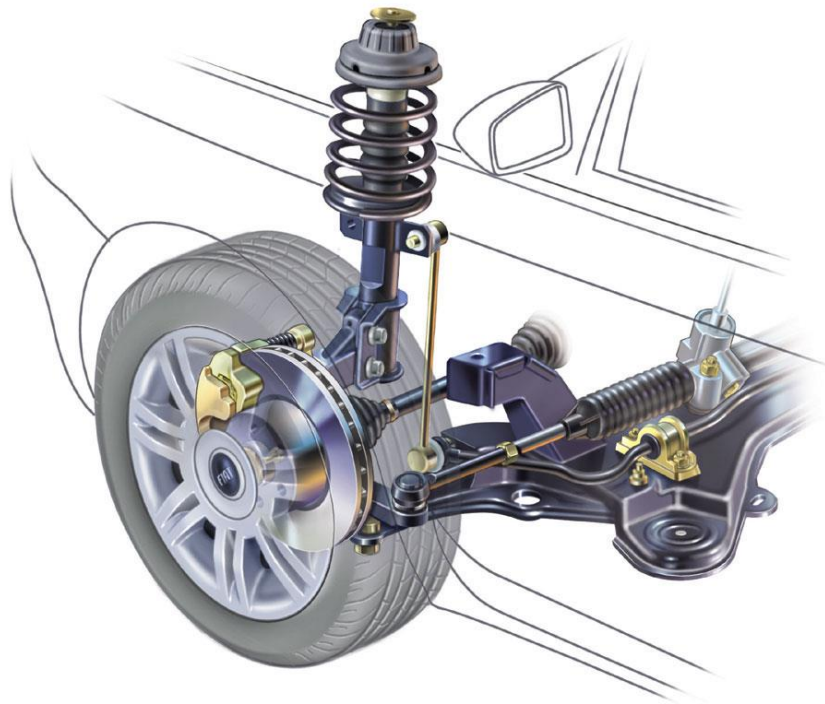
11. ábra: Normálerő hatása a tapadási együtthatóra [18]

1.3 McPherson típusú futóművek

A McPherson- típusú futóművek széleskörben elterjed manapság a személyautók körében. Számítalan megjelenését kompaktsága és egyszerűségének köszönheti. Az alapelv, hogy a rugózást és csillapítást végző alkatrészeket egy egységbe szerelik, így azokat egy alkatrészként kezeli. Továbbiakban ezt rugóstagnak nevezzük. A rugóstag felső végére szerelt toronycsapággal kapcsolódik a karosszériához. Az első részén vagy csavarkötéssel vagy hengeres felületével van a tengelycsonkhoz rögzítve. A tengelycsonkot szokás csenkállványnak is nevezni. A tengelycsonkot alulról különböző módon is lehet rögzíteni és közvetve a karosszériához vagy annak a segédvázához kapcsolni. Egyik módja ennek a háromszög alakú lengőkar meg egy gömbcsukló kapcsolattal teremt rögzítést a csenkállvánnyal. Másik megoldás mely szintén gömbcsuklóval kapcsolódik hozzá, viszont alakja eltér. L-alakú vagy a köznyelvben használatos módon banán lengőkarnak hívjuk. Ez a fajta lengőkar kapcsolódik a jármű karosszériájához, a motort tartó segédvázhoz és a tengelycsonkhoz is. A karosszériához torziós szilenttel, míg a másik két pontban gömbcsuklót alkalmaznak utca autók esetében. Verseny felhasználásnál ezeket gyakran lecserélik egy másik típusú gömbcsuklóra, melyet radiális gömbcsuklónak, halszemcsapágnak és az egyik gyártó típus jelzéséből elterjedve GE-gömbcsuklóknak is neveznek. Harmadik alsó rögzítési megoldás amikor nem egy, hanem kettő lengőkarral biztosítják a csenkállvány alsó megtámasztását. [11]

A rugóstag nem csak a rugózást és a csillapítást végzi, hanem a futómű kormányzási tengelyét is adja. A rugóstag toronycsapágjának középpontját és a tengelycsonk alsó bekötési pontjának középpontját összekötve kapjuk a kormányzási tengelyt, mely jelentős befolyással bír a jármű menetdinamikájára. Kettős alsólengőkaros megoldás esetén a két lengőkar gömbcsuklóinak momentán középpontja adja a kormányzási tengely alsó pontját. Jelen esetben a kormányzási tengely csak virtuálisan létezik. A McPherson futómű rugóstagja biztosítja a kerék egyenletes és vezetett függőleges mozgását. A lengőkar íves pályát biztosít a tengelycsonk függőleges mozgásához és ezáltal a keréknek is. A rugóstag és a lengőkar együttese korlátozza a kerék oldal- és hosszirányú elmozdulását. Ennek a futómű típusnak az egyik hátránya, hogy nem képes akkora negatív kerékdőlés elérni, mint például egy kettős keresztlengőkaros futómű. Nagy kanyarodási sebesség esetén ez esetleges tapadásvesztéssel is járhat. A korábban megbeszélték alapján tehát a rugóstag és a csenkállvány alsó bekötési pontjának elhelyezésével lehetséges a megfelelő kormányzási tengely pozíció meghatározása. Ezáltal meghatározzuk a csapterpesztést, az utánfutást és egyéb geometriákat a futóműben. [13]

A McPherson futómű egyszerű kialakítása végett tömeget is csökkent, mely a menetdinamikában pozitív hatással jár, ugyanis a rugózatlan tömeget csökkentjük vele. A kompaktsága miatt kevés alkatrészt igényel, így könnyebben és gazdaságosabb a gyártása is. Másik előnye a helytakarékoság. Hátránya, hogy a toronynál való felső bekötése nagy terhelést ró a karosszéria ezen pontjára és annak képesnek kell lennie ezzel szemben ellenállni, néha megerősítés szükséges ezen a ponton. Nagymértékű oldalerő esetén a rugóstagra ható erő mértéke jelentős. Ez a futómű típus kevésbé független más futómű megoldásokkal szemben. Az egyszerűsége miatt kedvező és közvetlen vezetési élményt nyújt azáltal, hogy a kereken fellépő menet közbeni erők kevesebb alkatrészen továbbítódnak a kormánykerékig, így a vezetőig. A lengőkar gumiszilentjei az alacsony amplitúdójú rezgések egy részét elnyeli és ezzel javítja a vezetési komfortot. A felső torony bekötési pontban is emiatt használnak manapság torziós gumiszilenteket vagy gumiágyba épített toronycsapágyakat. [3]



12. ábra: McPherson típusú futómű [22]

1.4 Kormányzás

Kormányzás során a jármű haladási irányát változtatjuk meg azáltal, hogy a kormányzott kerekeket a kívánt irányba fordítjuk. A kerekek elfordulását a kormánymű és az ahhoz kapcsolódó alkatrészek végzik. A járművezető a kormánykerék elfordításával indítja a kanyarodás folyamatát. A kormánykerék a kormányoszlopon keresztül egy tengellyel összeköttetésben van a kormányművel. A kormányművet és a kormánykereket összekötő tengely a jármű hosszanti irányába helyezkedik el. A kormánymű viszont a jármű keresztirányába továbbítja a folyamatot. A kormányműbe forgatónyomaték érkezik és ezt 2 módon továbbíthatja. Egyik módja, hogy rúd irányú erőt továbbít a közlő alkatrészekon keresztül a kerekekig. Másik esetben a kormánymű forgatónyomatékot továbbít és egy több karos forgató mechanizmussal fordítja a kívánt irányba a kerekeket. A kerekek az elkormányzási tengely körül fordulnak. A kerekeken megjelenő forgatónyomaték központja a kormányzási tengely csonkállványon való dőléspontjában van, erőkarja a tengelycsonkon eltoltan kapcsolódó kormányösszekötő gömbcsukló és a dőléspont távolsága. A forgató erő pedig ami a kormányműből érkezik. A kormányzás folyamatát nem csak önmagában a kormányzásért felelős alkatrészek végzik, hanem a korábban tárgyalt futó geometriát befolyásoló alkatrészek összesége. Manapság már minden személyautó szervó rásegítéses kormányzással rendelkezik. A régebbi hidraulikus rásegítés szinte teljesen felváltotta az elektromos rásegítő, mely képes alkalmazkodni a különböző helyzetekhez és a vezetéssegítő rendszerekkel is együttműködik. [12] [16]

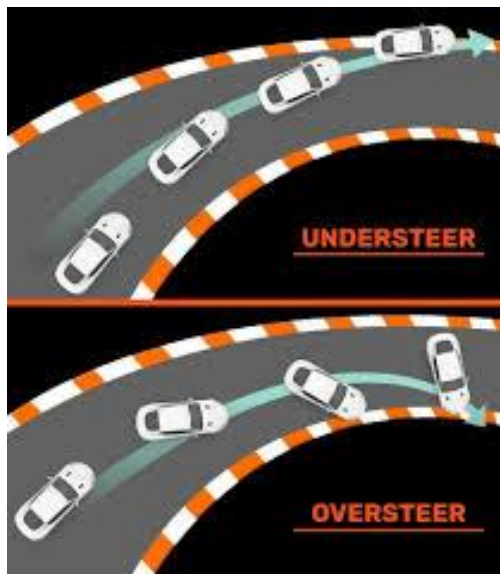


13. ábra: Személygépjárművek kormány rendszere [23]

A kanyarodás közben ívmenetre kényszerítjük a járművet. Ideális esetben nulla oldalkúszás mellett a két kormányzott kerékre állított merőleges egy pontban, a kanyar középpontjában találkozik. Ez az eset csak kis sebességű kanyarodáskor érvényes. A két kormányzott kereket nem egyforma mértékben forgatjuk el. A különböző elforgatás úgy történik, hogy a két kerék tengelycsonkjára állított merőleges mégis a kanyar középpontja felé mutat. Ennek a megoldása a kormányművet és kerekeket összekötő „trapéz” alakú rudazat. Annak a megvalósulása, hogy a tengelycsonkokra állított merőleges és az ívbelső hátsó kerékre állított merőleges egy pontban a kanyarodási ív központjában találkozik a csonkállványon lévő kar és az összekötő rudak méretarányától függ. A valóságban ezt csak az ív bizonyos szakaszán lehet megvalósítani és a többi szakaszon hiba lép fel. Ez a hibát oldalkúszásnak nevezzük, amikor is az abroncsok lecsúsznak az ideális kanyarodási ívről. A kúszást csakis kis sebességű kanyarodás esetén engedhetjük meg a menetbiztonság fenntartása érdekében. [2]

Kialakul oldalkúszás esetén két különböző eset léphet fel. Az egyik, hogy a jármű alulkormányzott lesz. Ebben az esetben a kanyarodás íve megnövekszik és a jármű eleje úgy nevezve lefelé csúszik a kanyar ívéről. Pontosítva az oldalgyorsulás hatására a kanyarívet tartva nagyobb elkormányzási szögre van szükségünk. A másik esetben a jármű túlkormányzottá válik. Ilyenkor az autó hátulja kitör az ívből és a jármű a központjához viszonyítva szögelfordulást végez. Túlkormányzott állapotban az oldalerő ellenében csökkenteni kell az elkormányzási szöget, akár ellenkormányzásra is szükség lehet a kanyarodási ív megtartásának érdekében. Az

alulkormányozottságot understeer-nek, a túlkormányozottságot oversteering-nek nevezik angolul. [6]



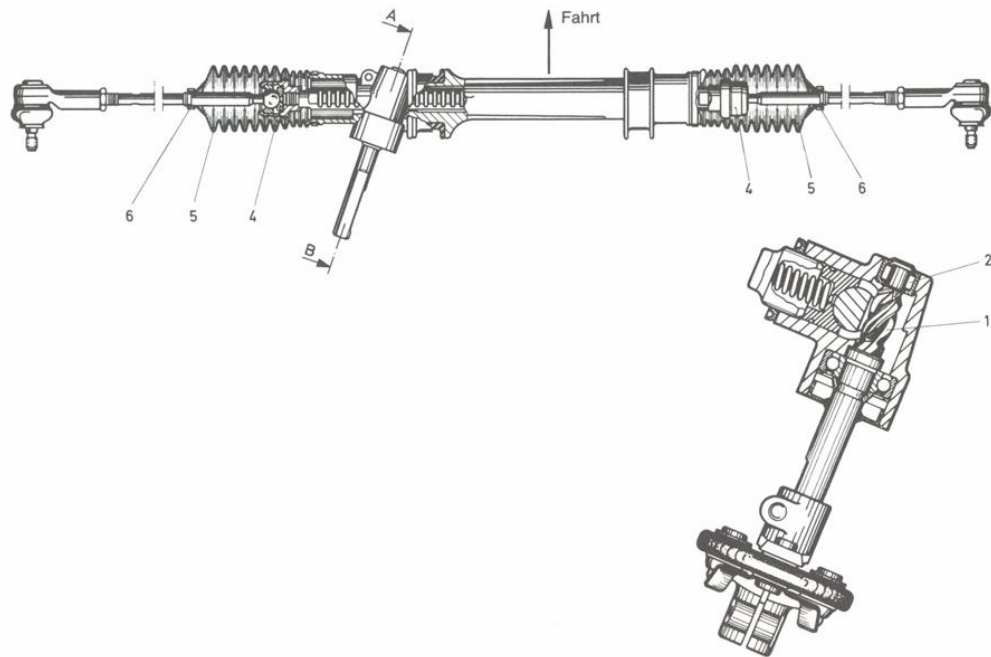
14. ábra: Alul- és túlkormányozottság [25]

1.5 Fogasléces kormánymű

A fogasléces kormánymű napjaik egyik legelterjedtebb kormányműve. Az egyszerű felépítése és kedvező tulajdonságainak köszönhetően a személyautók esetében a legkedvezőbb megoldás. Egyszerűsége miatt gazdaságos a gyártása és nincs nagy karbantartási igénye sem. A fogasléces megoldás közvetlenebb kormányzást biztosít minimális holtjáték mellett. A kialakításának köszönhetően könnyen integrálható a járműbe. A kormánymű alapvető feladat a kormányoszlopon érkező forgatónyomatékokat lineáris erővé alakítani és továbbítani a kormányösszekötő rudakra, melyek elforgatják a kormányzott kerekeket. [3]

Felépítése egy csigakerékkel kezdődik, mely a kormányoszlopon keresztül össze van kötve a kormánykerékkel. Ez a csigakerék kapcsolódik egy fogasléchez, mely kapcsolattal megtörténik a forgatónyomaték lineáris erővé való alakítása. A fogasléc több ponton megtámasztott és megvezetett tengelyre van integrálva a pontos lineáris mozgás érdekében. A fogasléc tengelyének két vége úgy van kialakítva, hogy az erő továbbítására szolgáló kormányösszekötő rudak könnyedén, csavarkötéssel hozzákapcsolható. A kormányösszekötő rúd két részből áll. Egyik része az úgy nevezett axiális csuklóval ellátott összekötő rúd, mely kapcsolódik a fogasléchez. A másik a tengelycsonkhoz kapcsolódó kormánygömbfej. Ezek

együttese létesít kapcsolatot a kormánymű és a tengelycsonk között. Továbbá a futómű geometria egyik eleme a kerékösszetartás állítására is lehetőséget ad. Az összekötő rúd és a kormánygömbfej is szintén csavarkötéssel kapcsolódik, így akár oldalként 20-40 mm állítási hézagot biztosít. [4]



15. ábra: Az Opel Corsa (1997) fogaslécés kormánya. Jól felismerhetők az oldalt a fogaslécra csavarozott nyomtávtartók axiális csuklói (4) és a tömítő harmonikák (5). Ahhoz, hogy a kerékösszetartás beállításakor (ami a tömör anyagból készülő középső rész elforgatásával történik) ezek ne zavarjanak, a bilincsek (6) meg lazítása szükséges. A kis fogaskerék (1) a nagy áttétel miatt ferde fogazású, és lent tűgörgős csapágy (2) vezet. A csapágyházat záró fedéllel látták el a szerelés megkönnyítése és a szennyeződés behatolásának megakadályozása érdekében. [6]

2 Anyag és módszer

2.1 Célok kitűzése, alapfeltételek áttekintése

A projekt azzal kezdődött, hogy szükséges volt teljeskörű ismeretet szerezni a jármű teljesen gyári állapotáról és annak az alkalmazott megoldásairól. A vizsgálat első körben egy teljesen gyári állapotú Bmw E46 coupé típusú személyautón kezdődött. A felmérés során több szempontot és tényezőt is figyelembe kellett venni. Elsődlegesen a kerék geometriáját kellett vizsgálni. A kerék beállításai a futómű többi részétől függ főként. A gyári megoldásokat szemrevételezve több potenciális lehetőség is előtárult. Egyike ezeknek a McPherson típusú futómű adta hely, ami rendelkezésünkre állt. A másik a karosszéria adta lehetőségek az egyszerű, mégis jelentős módosításokra.

A személyautó általános felhasználások mellett precíz és stabil vezetési élményt nyújt az átlagfelhasználó számára. A futómű beállításai és alkatrészei sportos és stabil menetdinamikát biztosítanak akár nagy sebesség mellett is, de nekünk nem teljesen erre volt szükségünk. A gyártók a vezetési élményt csakis a biztonságos vezetés után veszik figyelembe. A mi esetünkben, ahol versenycélra építjük a járművet a vezethetőség és a megbízhatóság nagyobb szerepet játszik, mint a komfort és a könnyed vezetés. Meg kell jegyezni, hogy egy jól beállított versenyautót is könnyeden, nagyobb erőfeszítések nélkül is képes akár egy kevés tapasztalattal rendelkező pilóta is vezetni. A tapasztalatok alapján az utcai autók verseny körülmények között sokszor kudarcot vallanak amiatt, hogy nem arra a felhasználásra lettek optimalizálva. Feladunk, tehát a beállítások és az alkatrészek módosítása, hogy azok számunkra és az adott körülményekre legyenek hangolva. Ezekkel az átalakításokkal elveszítjük az utcai kényelmet és komfortot és egy teljesen másképp viselkedő járművet hozunk létre. Az átalakítások által a jármű a versenypályán teljes mértékig kielégítő módon fog viselkedni abban a szakágban és felhasználási módban amire a beállítások hangolva lettek, viszont ezután a többi felhasználási területre kevésbé lesz alkalmazható. Ez az eset nem ritka a versenysportban, ahol egy bizonyos részre optimalizálunk szinte mindent annak érdekében, hogy verseny közben a legjobbat nyújtsuk. Erre legegyszerűbb példa a verseny felhasználásra gyártott gumibroncsok, melyek csak egy adott hőmérsékleten és megfelelő adottságok mellett képesek a csúcsteljesítményt garantálni. A versenyautó többi elemével is szintén ez a helyzet. Számunkra a cél egy könnyen kezelhető drift autó volt a cél. Fontos tisztázni, hogy a drift versenyautók esetében az a cél, hogy a járművet minél könnyebben lehessen

túlkormányzott állapotba hozni és stabilan ebben a helyzetben is tudjuk tartani. Az ehhez szükséges beállítások tárháza rengetek lehetőséget biztosít.



16. ábra: Drift közbeni túlkormányzott állapot [Saját forrás]

Alapvetően egy járművet, ami hátsó kerék meghajtású, az esetleges vezetésbiztonsági berendezések kikapcsolása mellett viszonylag könnyen lehet túlkormányzott állapotba hozni, viszont nehéz abban is tartani és egy bizonyos útpálya mentén végig manőverezni. Szerencsénkre az általunk választott jármű típus a Bmw hármasszéeriájának E46-os kivitele már a gyári alkatrészekkel és beállításokkal is mellett jól teljesít ezekben az esetekben. A gyártó ezeket mind jól tudta mikor megalkotta ezt a típust és mégis garantálni tudja a menetbiztonságot az átlagfelhasználás mellett is. A sofőrök elég nagy százaléka nem használja ki a jármű adta lehetőségeket, hisz a hétköznapiakban erre nincs is szükség, viszont egy esetleges helyzetben nem árt, ha tisztában vagyunk a saját és a személyautónk adta lehetőségekkel. Egy rosszul felmért kanyar estén bekövetkező megcsúszás könnyen tragikus következményekbe torkolhat, ha a vezető nincs tisztában a baj elkerüléséhez szükséges manőverekkel. További gondokat okozhat, ha a sofőrök nem érzékelik a jármű visszajelzéseit, sőt nem is tudják ezek mit is jelentenek. Az átlag vezető nem tudja hogyan reagáljanak ilyen esetekben és ez számos balesetet okoz, hiába az autójuk képes lenne a baleset elkerülésére.

A Bmw negyedik generációs hármasszéeriája már rengetek olyan módosított tulajdonsággal rendelkezik, mely a korábbi típusok estén hátrány jelentett. Az e46-os széria rendelkezik a 2000-s évek korszerű futómű megoldásaival és vezetést segítő berendezésekkel a korának megfelelően. A motor változatai egészen a gazdaságos négyhengeres benzin, illetve dízelüzemű motoroktól kezdve a magas teljesítményt nyújtó hathengeres szintén benzin és dízelüzemű motorokig terjed. A nagyobb soros elrendezésű benzinmotorok rengetek fejlesztési potenciállal, magas fordulatszámmal és remek dinamikával rendelkeztek és váltak a kor egyik legkiemelkedőbb konstrukciójává. A futóműben is fejlesztettek a mérnökök és

ezáltal a menetdinamikája az elődökhöz képes javulni tudott. Az első tengelyen továbbra is McPherson típusú felfüggesztést alkalmaztak, viszont a hátsó tengelyen egy multilink futóművet építettek be, ami korábban nem volt megszokott a hármasszeriánál. Ezek a megoldások növelték a jármű képességeit és nagyobb kanyarodási sebességeket lehetett vele elérni. A nagyszerűségét hamar felismerték és több versenysorozatban is állandó részvevő volt ez a típus.

2.2 Összehasonlítás és piac kutatás

2.2.1 Gyári lengőkar

A legelső alkatrészünk, amit vizsgálat alá vettünk az az egyik fő elem volt a gyári lengőkar. A megfigyelések során több átalakítási pont is volt, amit ki kellett használni. A folyamat kezdetén a célok pontos ismertetése fő szempont volt az eredményes haladás érdekében. A célunk a nyomtáv növelése volt, így plusz stabilitást nyerünk, és a drift-ben alkalmazott vezetési stílust könnyebben teljesíteni lehet. A nyomtáv változtatásával az első tengelyen befolyásoljuk a jármű reagálását az egyes vezetési helyzetekre. A gyári lengőkar az utcai felhasználásra lett optimalizálva, ami nekünk hátrányt jelentett. Az eredeti lengőkar három pontos felfogatással rendelkezik és egy úgy nevezett háromszög lengőkar. A három rögzítési pontból kettő gömbfejjekkel kapcsolódik a tengelycsomkhoz és a motortartó segédkerethez. A harmadik rögzítési pont egy gumiszilentes bekötési pont, mely a karosszeriával teremt kapcsolatot. A rugózatlan tömeg csökkentése érdekében a gyártó öntött alumínium ötvözetet alkalmazott ennél az alkatrészénél is. A lengőkar formájának kialakítása a három rögzítési ponthoz lett alakítva úgy, hogy az előírt merevséget biztosítsa. A formát még befolyásolta az is, hogy az elkormányzott kerekek nagy helyet igényelnek és ezt a lengőkarnak biztosítani kell.



17. ábra: BMW E46 erősített első lengőkarok, Meyle HD típusú utángyártott alkatrész [26]

2.2.2 Verseny felhasználású lengőkarok különböző gyártóktól

Több gyártó is kifejlesztette már a saját lengőkar készletét, melyek a drift szakághoz lettek kidolgozva. Azért árulják ezeket készletben, mert a szükséges futómű geometriát nem lehetséges csak egy módosított lengőkarral elérni. Korábban már leszögeztük, hogy a futómű minden egyes elemének összessége biztosítja számunkra az elvárt tulajdonságokat. A motorsportban nagyobb hangsúly kerül az egyes elemek olyasfajta kialakításában, hogy azok verseny közben gyorsan és könnyedén módosítható legyen, hogy a járművet teljes mértékig az adott feltételekhez és versenypályához lehessen hangolni. A pilóták számára sokszor ez jelentős előnyt biztosít. A drift-hez szükséges futómű készlet fő darabja a módosított, versenyre hangolt lengőkarja. Az oldalirányú kiszélesedése mellett az alapformája is karcsúsítva van. A növelt szélességek módosították a nyomtávot, mely elengedhetetlen annak érdekében, hogy a gyárinál jóval nagyobb kerekeket lehessen felhelyezni a tapadás megnöveléséhez. A nyomtáv szélesítés továbbá lehetőséget nyit arra, hogy az elkormányzási szöget is nagy mértékben meg lehessen növelni. Menetközben erre a növelt elkormányzási szögre szükség is van, hisz a pilóták a verseny alatt végig nagy mértékű túlkormányzott állapotban tartják a versenyautót és itt ellenkormányzást kell alkalmazni. Az elkormányzás során nem ritka, hogy az elkormányzási szög legvégső pontjában tartják a kerekeket. A növelt elfordulás és felniméret miatt a kerekeknek még több helyre van szükségük a karosszériában. A megoldás erre a karcsúsított forma. A gyártók a kisebb geometriai méretek és a nagyságrendekkel nagyobb terhelés miatt nem öntött alumínium ötvözetet alkalmaznak. Pontos anyagot a gyártók nem hozzák nyilvánosságra, viszont az megállapítható, hogy valamilyen ötvöztött acélt használnak. A lengőkar mind három rögzítési pontjában axiális gömbcsuklót alkalmaznak a holtjátékok és torziók elkerülése érdekében. A gyári lengőkarral ellentétben a stabilizátor rúd csatlakozási pontját is a lengőkaron alakították ki. Pontosabban a torziós rugó és a futómű integrálására szolgáló stabilizátor rúd felfogatása került a lengőkarra. Az jármű eredeti konstrukciójában ez a rúd a rugóstaghoz van kapcsolva. A torziós rugó és annak felfogatásának módosítására azért volt szükség, hogy a karosszériában plusz helyet szabadítsanak fel a kerekeknek.



18. ábra: Wisefab drift lengőkar készlet [27]

A teljes készlet további szükséges alkatrész is tartalmaz, mely egyenként módosított. Több típusú készlet létezik és ezek eltérnek a készlethez tartozó alkatrészek számában. A gyártók rendelkezésünkre bocsájtanak akár egy teljes felfüggesztést is, mely optimalizálva van a felhasználásra. A készlethez tartozik a toronycsapág, a tengelycsenk, a lengőkar össze rögzítési alkatrésze, a kormányösszekötő rudak és a szükséges szerelvények. Minden elemet úgy terveztek, hogy a futómű összes geometriai értékét képesek legyenek módosítani és beállítani a felhasználók. A beállításokra szükség is van, ugyanis az alkalmazott futómű paraméterek jelentősen eltérnek az utca felhasználáshoz alkalmazottakkal szemben. A kerékdőlés és a csapterpesztés nagyobb mértékű, a kerékösszetartás helyett kerékszétartást alkalmaznak a jobb menetdinamika és vezethetőség érdekében. A futóművet nem csak az első tengelyen, hanem a hátsón is módosítani szükséges, melyhez szintén lehetőség van egy hasonló készlet megvásárlásával. Fontos tisztázni, hogy ezeknek a futóműveknek az utcai felhasználása szigorúan tilos. A gyártók csakis a verseny körülményekhez tervezték az alkatrészeket. A hétköznapi felhasználás elkerülése érdekében minden gyártó ellátja a termékét egy „Not for road use” felirattal, ami annyit tesz angolul, hogy utcai körülményekre nem alkalmas.

2.2.3 Összehasonlítás

Nagyvonalakban ezekre az ismeretekre van szükségünk ahhoz, hogy el tudjuk különíteni az utcai és verseny körülményekre tervezett futómű alkatrészeket. A személyautók esetében a kialakítás mindig a felhasználás céljától függ. Az utcai felhasználás során is találkozhatunk olyannal, hogy bizonyos típusok inkább a sportos vezetésre vannak optimalizálva, míg mások az összkomfortot helyezik előnyben. Összehasonlítás során amikor összevetünk egy hétköznapi használatra tervezett és egy versenyfelhasználásra épített járművet még ha a márka és típus is megegyezik akkor sem lehet eldönteni melyik bizonyul jobbnak. Ennek oka az, hogy mindkettő jól teljesít a saját környezetében, viszont nem egészében alkalmas a másik helyzetében. Bár a BMW bizonyos szériái már teljesen gyári állapotukban is képesek derekasan helytállni a versenypályákon.

Költségeket összevetve jelentős különbségeket tapasztalunk. A gyári alkatrészek nagy darabszámú sorozat gyártásának köszönhetően lényegesen olcsóbbak. A verseny alkatrészek összege a nagyobb teherbírás és kisebb gyártási darabszám miatt magasabbak. Továbbá ezen alkatrészeket forgalmazó cégek száma is alacsonyabb és nehezebb beszerezni őket.

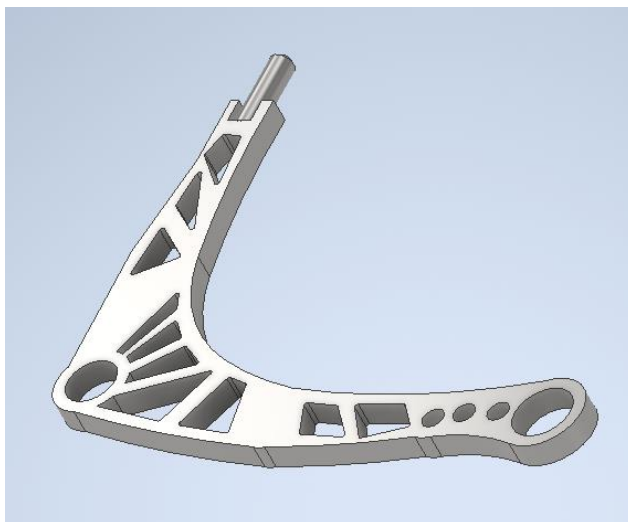
2.3 Saját modell készítés

2.3.1 Előzetes modell

Saját 3D modell készítésének kezdete a gyári futómű paramétereinek és kapcsolódási pontok felmérése volt. Az elemzéshez egy Bmw E46 coupé típusú személyautó lengőkarját használtuk. Ebben a típusban többféle lengőkart is alkalmaztak a különböző motor és az eltérő hajtáslánc kivitelek miatt. Számunkra egy 2.5 literes, hathengeres, soros elrendezésű benzinmotorral szerelt, hátsókerék-hajtású személygépjármű lengőkarja állt rendelkezésre a mérésekhez. Kiindulási alapnak a lengőkar méreteit és rögzítési pontjait kellett venni, hisz ezeket szeretnénk volna módosítani. A lengőkar kapcsolódását a karosszériához és a motort tartó segédvázhoz nem terveztük módosítani, hisz az további komplikációkat okozott volna. A pontos méretek és elhelyezkedések ismeretében elkezdődhetett a 3D modell készítése.

A tervezés során az előzetesen összegyűjtött információkat és adatokat kellett szem előtt tartani, amik leírják egy megfelelően driftre optimalizált futóművet. A gyárhoz hasonló formát alakítottunk ki a rögzítési pontos fixálása miatt. A forma karcsúsítva lett a nagyobb térszükséglet miatt, amire az elkormányzott kerekeknek szüksége van. A lengőkar formája hasonlít a gyárhoz, de a határoló íveket módosítottuk a kisebb térbeli kiterjedés miatt. A felfogatási pontok egyikét oldalirányban kitoltuk a szükséges futómű geometria eléréséhez. Ezen a ponton csatlakozik a lengőkar a csonkállványhoz. Ezzel a módosítással tudtuk elérni, hogy a nyomtáv szélessége nagyobb legyen a gyári méretekhez képest az első tengely esetében. A lengőkar méreteinek növelése nagyobb terhelésekkel jár, hisz a rögzítési pontok közötti távolság erőként funkcionál. A kerekekről érkező függőleges erőkkel közösen forgatónyomatékok hoznak létre a lengőkaron, melynek elfordulási pontja a motort tartó segédvázon van a lengőkar bekötési pontjában. Ez a forgatónyomaték nagyobb, mint a gyári lengőkar esetében, ezért nagyobb csillapítással rendelkező rugóstagra lesz szükség. A rugóstag módosítása alapvetően is szükséges volt a stabilabb kanyarodás és menetdinamika miatt. A modellen már olyan bekötési pontokat alkalmaztunk melyek a későbbiekben lehetővé teszik a megerősített rögzítéseket. Ilyen például a hátsó rögzítési pont is mely a karosszériával kapcsolja össze a lengőkart. A gyári lengőkar esetében ennek a résznek hatszög keresztmetszete van, ami pontosan illeszkedik a gyári gumiszilent közepébe. Mi ebben az esetben kör keresztmetszetet alkalmaztunk annak érdekében, hogy a megerősített rögzítés már könnyebben megvalósítható legyen. A megerősítés egyik formája a poliuretánból készült szilent. Ennek a gyártási költségét és a lengőkar árát is csökkenteni tudjuk a másfajta keresztmetszett

használatával. Anyagvastagságot előzetesen a tapasztalatok alapján adtunk az alkatrésznek.



19. ábra: Drift lengőkar elsődleges 3D modell [Saját forrás]

Az alkatrész tömege tömör állapotban túl nagy volt, így szükséges volt az anyag eltávolítás bizonyos helyeken. A tömeg csökkentése a járműiparban jelentős szerepet képvisel. Személygépjárművek esetében 2 típusú tömeget különböztetjük meg. Az első a rugózott tömeg, amely a jármű fő tömegét teszi ki. Idetartoznak azok a tömegek, melyek közvetlen nem kapcsolódnak az úttal csak a rugóstagon keresztül, tehát már csillapítva van a mozgásuk az útpályához viszonyítva. A tömeg főbb összetevői a karosszéria, a motor és az utastér tömege, de ide lehet sorolni minden tömeget, ami a rugóstag „fölött” van. A második a rugózatlan tömeg, mely közvetlen kapcsolódik az úttesttel. Főbb elemei a kerekek, fékek, lengőkarok és a csonkállvány tömegei. Ez a rugózatlan tömeg döntő befolyással rendelkezik a jármű dinamikájában, vezethetőségi kényelmében és nem mellesleg a stabilitást is nagyban meghatározza. A túl nagy rugózatlan tömeg ront a komfort érzésén, mivel a nagyobb tömegből eredően az úttestről átadott rezgések is nagyobbak lesznek. Ezek a rezgések nem csak a kényelmet rontják, hanem az alkatrészek élettartamát is rövidítik. Kisebb rugózatlan tömeg mellett a kerekek is könnyebben képesek lekövetni az útpálya változásait és a csillapítás is hatékonyabban tud működni. Ezek következtében a jármű tapadása is javulni fog. Túl nagy rugózatlan tömeg esetében a kanyarstabilitás is romlik, ugyanis a nagy tömegek miatt a súlypont átterhelődések is más ütemben mennek végbe. Számunkra elsődleges feladat volt a tervezett alkatrész tömegének csökkentése, hiszen a versenysportban ezen feltételeknek sokkal nagyobb szerepe van, mint az utcai felhasználás esetében. A tömegek

csökkentése elengedhetetlen volt, viszont a biztonságot és a megbízhatóságot is szem előtt tartva kellett megvalósítani. Számunkra a tömör anyag használata teljesen elképzelhetetlen volt. A kikönnyített részeket a legelső modell alkalmával csakis a tapasztalatok alapján helyeztük el. Az elkészült modellt csak ezután kezdtük el elemezni és az esetleges hibákat kijavítani. Az elemzések során megvizsgáltuk elsődlegesen, hogy a modell ténylegesen teljesíti-e az előírt követelményeket és biztosítani tudja a későbbiekben a megfelelő működést.



20. ábra: Saját tervezésű tengelycsonk [Saját forrás]

A tervezés során nem csak egy lengőkar 3D modelljét készítettük el, hanem az ahhoz kapcsolódó tengelycsonkot is. A tengelycsonk módosítására amiatt volt szükség, hogy tovább tudjuk csökkenteni a rugózatlan tömeg súlyát és egyszerűbb kialakítási formát hozunk létre. A motorsportban szükséges az alkatrészek egyszerűsége a gyorsabb és hatékonyabb javítások érdekében. A forma kialakítása során figyelembe kellett venni a gazdaságos és minél gyorsabb gyártási lehetőséget. További meghatározó elemek voltak a csatlakozási pontok. Ebben az esetben a rugóstag rögzítési pozíciója a gyárhoz hasonló kialakításban történt. A féknyergek felfogatási módja teljes mértékig megegyezik a gyárral, hiszen azok cseréjét nem indokolta semmilyen körülmény. A tengelycsonkon a gyári kerécsapágy helyét is kialakítottuk a szükséges rögzítési ponttal együtt. A csonkállványon létrehoztuk a lengőkar és a kormányösszekötő bekötési pontját. Itt a lehetőséget kihasználva rövidítettünk az elkormányzási sugár hosszán. Erre annak érdekében volt szükség, hogy gyorsabb kerékfordulást tudjunk biztosítani menetközben. A módosítás következményeket vont maga után, mivel a kormányműre ható terhelés ezzel egyidejűleg megnőtt. Kompromisszumként ezt a többlet terhelést a kormányzásban

segítő szervó rásegítő cseréjével orvosoltuk. Az egyedi tengelycsonkunk több darabból tevődik össze. Az egyszerű gyártás érdekében volt erre szükség. Az elemeket hegesztett kötésekkel rögzítettük egymáshoz. Ennek az alkatrésznek csakis egy előzetes 3D modelljét készítettük el. Annak érdekében, hogy az alkatrész gyártható legyen és elkészüljön további elemzésekre és módosításokra lesz majd szükség.

2.3.2 A használt tervező szoftver

A tervezés során az Autodesk termékcsalád Inventor Professional 2022-es kiadását használtam. A gyártó ezt a szoftverét közép- és nagyvállalatok mérnöki felhasználására fejlesztette ki. A program lehetőséget kínál a háromdimenziós parametrikus modellezésre, műszaki dokumentációk elkészítésére és szimulációs környezetben való fejlesztésre és tesztelésre. Több alkatrészből álló összeállítási modellek létrehozását is biztosítja. A parametrikus modellezési környezetnek köszönhetően a felhasználó a tervezett geometria minden elemét, méretét és egyéb hasonló tulajdonságait is rugalmasan képes módosítani. A szoftver ezeket a módosításokat folyamatosan frissíti a kapcsolódó elemekkel együtt. Nagy segítség a felhasználók számára az Inventor nyújtotta összeállítási környezet is, ahol több alkatrészt összeállítását is lehetővé teszi. Az alkatrészek önálló módosítása az összeállítási környezetben is azonnal megjelenik, így gyors és precíz munkavégzést biztosít.

2.4 Számítások a megfelelő mérethez

2.4.1 Átterhelődés számítása

Nyomtáv megnövelésének a hatását számoltuk ki elsőnek az átterhelődések közben. Kanyarodási fázisban vizsgáljuk a járművet. A kanyarodás sebessége 72 [km/h], ami 20 [m/s]. A kanyar sugara 50 [m]. A járművünk tömege 1300 [kg]. A jármű gyári nyomtáv szélessége 1.48 [m], a súlypontjának a magassága 0,55 [m]. A módosított lengőkarokkal a nyomtávot 40 [mm]-rel megnöveltük. A súlyeloszlása közel 50/50 arányú a járműnek, így ezzel az értékkel számolunk. A számítások az első tengely terhelte, ív külső kerekére fektet hangsúlyt, hisz ezen a kereken lép fel a legnagyobb terhelés kanyarodás közben. A számításokat az első tengely statikus terhelésének kiszámolásával kell kezdeni. A terhelés a jármű tömegéből és annak súlyelosztásából következik az alábbi képlet alapján:

$$F_{z0,F} = \frac{m \cdot g}{2} \cdot \frac{distr_F}{100} = \frac{1300 \cdot 9,81}{2} \cdot \frac{50}{100} = 3188 [N] \quad (1)$$

ahol a $F_{z0,F}$ a statikus normálerő, ami a kerekeket terheli a jármű álló helyzetében. A $distr_F$ a jármű súlyeloszlását mutató egység. Az átterhelődés kiszámításához az oldalgyorsulást is szükséges számolni:

$$a_y = \frac{v^2}{R} = \frac{20^2}{50} = 8 \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (2),$$

a v betűvel a kanyarodás sebességét jelöljük, az R a kanyar sugarának értéke. Az adatok és a kiszámított értékek alapján az átterhelődés a következőképpen számolható:

$$\Delta F_z = \frac{m \cdot a_y \cdot h_{CG}}{T} = \frac{1300 \cdot 8 \cdot 0,55}{1,48} = 3864,9 [N] \quad (3),$$

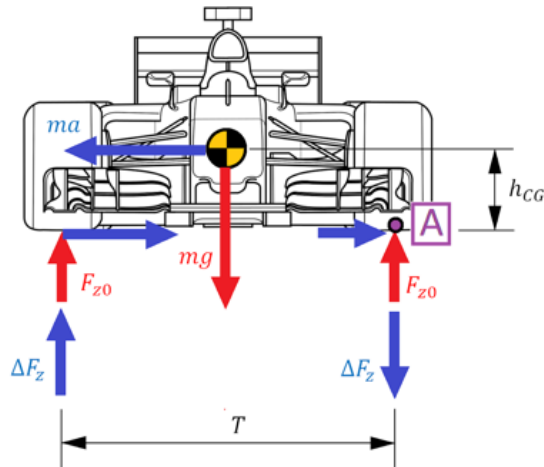
ahol az m a jármű tömege, a T a nyomtáv szélessége és a h_{CG} a súlypont magassága. A megkapott átterhelődési értékkel elsőnek az első tengelyre ható terhelést számoljuk a súlyelosztás arányában:

$$\Delta F_{z,F} = \Delta F_z \cdot \frac{distr_F}{100} = 3864,9 \cdot \frac{50}{100} = 1932,5 [N] \quad (4),$$

a képletben az első tengelyre ható többlet erő nagyságát $\Delta F_{z,F}$ jelöli. Végezetül a terhelte kerékre ható teljes normálerejét számoltuk ki:

$$F_{z,F,out} = F_{z0,F} + \Delta F_{z,F} = 3188 + 1932,5 = 5120,5 [N] \quad (5),$$

a $F_{z,F,out}$ jelöléssel az első tengely külső, terhelte kerekére ható normálerőt jelöljük. A számításokkal kiszámoltuk a jármű gyári paramétereit mellett a kanyarodás közben kialakuló erőhatásokat az átterhelődés következtében.



21. ábra: Átterhelődés számítás kiegészítő ábra [17]

Az összehasonlításhoz behelyettesítjük a módosított nyomtáv szélességet:

$$\Delta F_z = \frac{m \cdot a_y \cdot h_{CG}}{T} = \frac{1300 \cdot 8 \cdot 0,55}{1,52} = 3763,2 \text{ [N]} \quad (3),$$

$$\Delta F_{z,F} = \Delta F_z \cdot \frac{\text{distr}_F}{100} = 3763,2 \cdot \frac{50}{100} = 1881,6 \text{ [N]} \quad (4),$$

$$F_{z,F,out} = F_{z0,F} + \Delta F_{z,F} = 3188 + 1881,6 = 5069 \text{ [N]} \quad (5).$$

A számítások levezetése után az értékek összehasonlítása közben megállapítható, hogy a nyomtáv szélesség növelésével csökkenteni tudtuk a kerekre ható normálerőt. A normálerő csökkenéssel nagyobb oldalirányú erő képes az abroncs elviselni tapadás veszteség nélkül. A módosítás eredményesnek bizonyult a számítások alapján, hisz növeltük a járművünk kanyarstabilitását.

2.4.2 Kormánynyomaték számítása

A tengelycsonk áttervezése során csökkentettük az elkormányzási sugár hosszát, ezzel megnöveltük a kormányzáshoz szükséges forgatónyomatékot. A következőkben ennek mértékét fogjuk kiszámolni. A számoláshoz veszünk egy kanyarodási helyzetet, melyben az első tengelyen az ívkülső kerékre 4000 [N] oldalirányú erő hat, ez az érték az ívbelső kerék esetén 1000 [N]. A pontosabb összehasonlítás érdekében az utánfutás érték nem változtatjuk a két számítás között és mértéke 40 [mm], ami 0,04 [m]. A kormányműben lévő fogaskerék átmérője 17 [mm]. A gyári elkormányzási sugár viszonyított értéke 120 [mm], pontos adat nem áll rendelkezésünkre. A módosított csonkállványon ez az érték 90 [mm]. Az adatok ismeretében a tengelycsonkon kialakuló forgatónyomatékot szükséges meghatározni az alábbi egyenlettel:

$$M_{str.axis}^{OUTER} = F_{y,Out} * mech.trail = 4000 * 0,04 = 160 [Nm] \quad (6),$$

ahol $M_{str.axis}^{OUTER}$ jelöli a kialakuló forgatónyomaték nagyságát, $F_{y,Out}$ az ívkülső kerékre ható oldalerő nagyságát adja és a *mech.trail* pedig az utánfutás mértéke. Az ívbelső kerékre is azonos módon kell a nyomatékokat kiszámolni:

$$M_{str.axis}^{INNER} = F_{y,In} * mech.trail = 1000 * 0,04 = 40 [Nm] \quad (7),$$

ahol $M_{str.axis}^{INNER}$ jelöli a kialakuló forgatónyomaték nagyságát, $F_{y,In}$ az ívbelső kerékre ható oldalerő nagyságát adja és a *mech.trail* pedig az utánfutás mértéke. Ezek ismeretében ki tudjuk számítani a kormányzás során kialakuló rúd irányú erő nagyságát a kormányösszekötő rudakban. Első esetben az ívkülső kerék esetében számolunk az alábbi módon:

$$F_{tierod}^{OUTER} = \frac{M_{str.axis}^{OUTER}}{R_{str.arm}} = \frac{160}{0,12} = 1333,3[N] \quad (8),$$

ahol F_{tierod}^{OUTER} a kormányrúdban kialakuló erőt jelöli, $R_{str.arm}$ pedig a kormányzás karja. Azonos módon kell az ívbelső kerékre is kiszámolni az erő nagyságát:

$$F_{tierod}^{INNER} = \frac{M_{str.axis}^{INNER}}{R_{str.arm}} = \frac{40}{0,12} = 333,3[N] \quad (9),$$

ahol F_{tierod}^{INNER} a kormányrúdban kialakuló erőt jelöli, $R_{str.arm}$ pedig a kormányzás karja. Az erők meghatározása után tudjuk kiszámolni a kormány elforgatásához szükséges forgatónyomaték nagyságát kiszámolni a következő képlettel:

$$M_{str.wheel} = (F_{tierod}^{OUTER} - F_{tierod}^{INNER}) * R_{gear} = (1333,3 - 333,3) * \frac{0,017}{2} = 8,5 [Nm] \quad (10),$$

ahol $M_{str.wheel}$ a kormány elforgatásához szükséges forgatónyomaték nagysága, R_{gear} a kormányműben lévő fogaskerék átmérőjének a sugara.

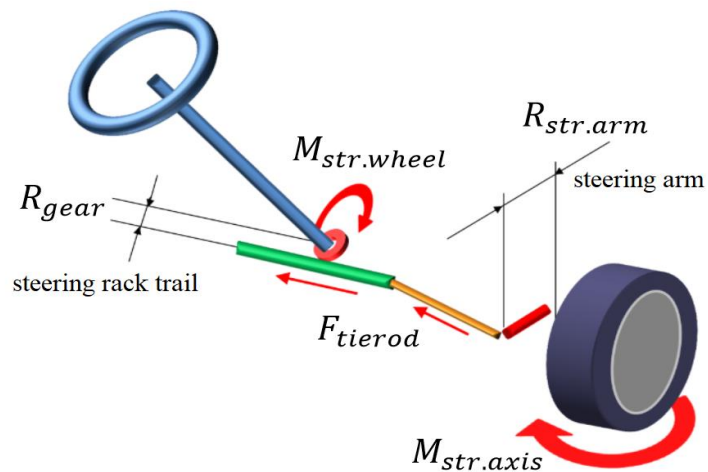
Az összehasonlításhoz behelyettesítjük a módosított tengelycsonk elkormányzási sugarát a képletekben:

$$F_{tierod}^{OUTER} = \frac{M_{str.axis}^{OUTER}}{R_{str.arm}} = \frac{160}{0,09} = 1777,8[N] \quad (8),$$

$$F_{tierod}^{INNER} = \frac{M_{str.axis}^{INNER}}{R_{str.arm}} = \frac{40}{0,09} = 444,4[N] \quad (9),$$

$$M_{str.wheel} = (F_{tierod}^{OUTER} - F_{tierod}^{INNER}) * R_{gear} = (1777,8 - 444,4) * \frac{0,017}{2} = 11,3 [Nm] \quad (10).$$

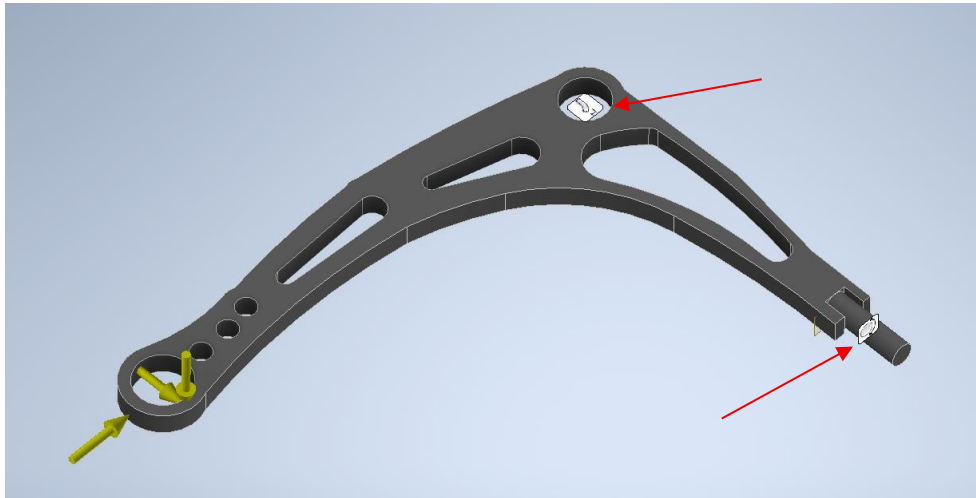
A számítások során kapott értékek alapján határozottan megállapítható, hogy az elkormányzási sugár csökkentésével növeljük a kerék elforgatásához szükséges nyomaték nagyságát a kormánykeréken. A megnövekedett terhelést főként a jármű kormányművének szervó rásegítője szenvedni el. Valószínűsíthetően csökkenni fog ezáltal az élettartama az alkatrésznek. Kompromisszumként elfogadjuk ezt a tényt annak érdekében, hogy a versenyautó minél inkább optimalizálva legyen a verseny körülményekre.



22. ábra: Elkormányzási nyomaték számolás kiegészítő ábra [19]

2.5 Terhelés szimuláció

Az előzetes számítások során kaptuk egy hozzávetőleges képet a kialakuló terhelésekről. Ezen erőhatásokat figyelembe véve szimulációs programban teszteltük az elkészített modellt. A szimulációt szintén az Autodesk Inventor Professional szoftverben végeztük.

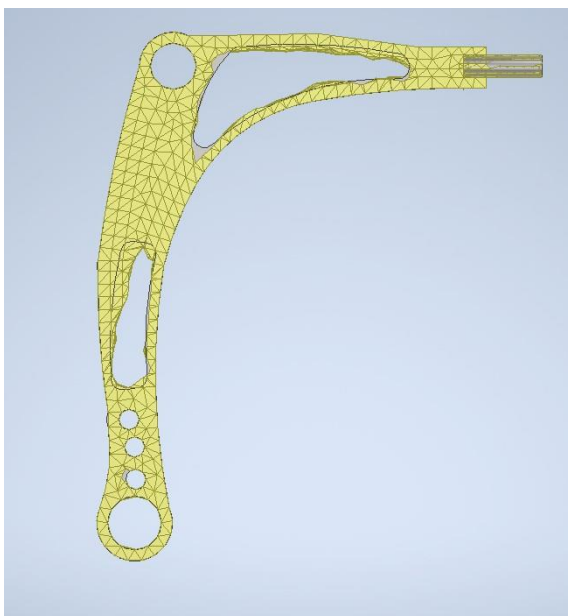


23. ábra: Terhelés szimuláció paraméterek [Saját forrás]

Elsődlegesen rögzítettük a paramétereket a szimulációs programban. A rögzített pozíciókat és felületeket meghatároztuk és létrehoztuk a programon belül. Piros nyíllal jelölt felületek a rögzített pontok. A sárga vonallal a lengőkarra ható erőket illusztráljuk. Ezen pontokon a lengőkar bekötési pontjai voltak. Az egyik a bekötési pont mellyel a karosszériához csatlakozik, míg a másik mellyel a motort tartó segédvázhoz kapcsolódik. Ezek a pontok a valóságban nem rögzített pontok, hisz egy bizonyos tartományban képesek elmozdulást biztosítani a lengőkarnak. Korábban tisztáztuk, hogy a segédvázhoz gömbcsuklós felfogatást alkalmazunk. A karosszériához pedig gumiszilentre használtak eredetileg a gyári lengőkar esetében, ami a mi esetünkben poliuretán, kemény műanyag szilentre lett cserélve a stabilitás miatt. A nagyobb biztonság érdekében a mi esetünkben a szimuláció során rögzített pontként adtuk meg a bekötési pontokat a paraméterek bevitelekor. A szimuláció nem teljes egészében egyezik meg a valóságos terhelésekkel, ugyanis nem áll rendelkezésünkre pontosan minden adat. A szimuláció során a terhelések értékét az előzetes számítások során kapott értékeknek megfelelően adtuk meg a szimulációban. Az oldal irányú erő 4000 [N], amely a kanyarodási fázis miatt jön létre. Ez az erő a gumibroncsok által kifejtett ellenerő. A longitudinális erő, mely a jármű hosszanti irányában hat 2000 [N]. Ez az erő a fékezés következtében ébred, szintén a gumibroncsokból adódóan, azok súrlódási ellenállása miatt. A

függőleges erő a jármű tömeg által keltett erő az átterhelődés alatt. Ennek 7000 [N] a nagysága a szimulációs paraméterekben. Ezek az értékek egy esetleges baleset során fellépő erőket tükrözik. A szimuláció során egy kanyarodás és fékezési fázisban fellépő erők összességét adtuk meg paraméternek. Ebben az esetben csillapítást nem adtunk az erőknek, így azok teljes mértékben a lengőkarra hatnak. A szimuláció során, tehát egy átlagostól eltérő szélsőséges esetet vizsgáltunk, hogy az alkatrészünk biztonságos legyen. Egy biztonsági tényezőt is alkalmaztunk a szimuláció során annak érdekében, hogy az alkatrészünk ténylegesen kibírja a valóságban a ráható terheléseket.

A szimulációs program segítségével az alkatrész tömegének a csökkentésével kezdtünk. A betáplált adatokkal a szoftver meghatározta azokat a területeket, ahonnan anyag eltávolítása lehetséges.



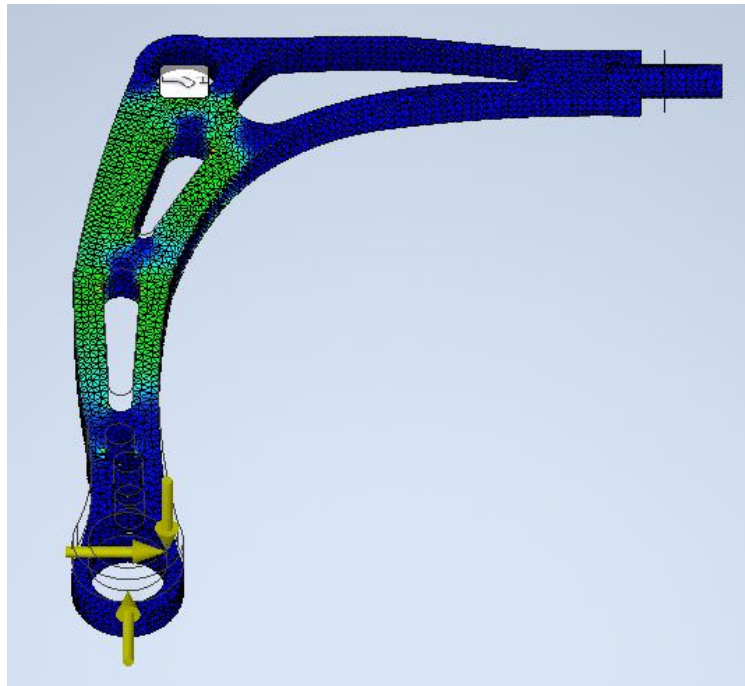
24. ábra: Szimulációs tömegcsökkentés [Saját forrás]

A szimulációs eredmények kiértékelése után az adatok alapján módosítottuk a modellt és ezt a szimulációt többször is elvégeztük. A módosításoknak és a többszörös tesztelésnek és szimulálásnak köszönhetően sikerült az alkatrészt tömegét szinte a felére csökkenteni.

A könnyítések szimulálása végén elérkeztünk a végleges modellhez. A modellt ekkor egy terhelés szimulációs környezetben is teszteltük. A szimulációk során a terheléseket úgy határoztuk meg, hogy a futóműre ható erők szinte teljes egészét a lengőkar veszi fel, ami a valóságban csak részben alakul így. Annak érdekében, hogy biztonságos alkatrészt hozzunk létre, amiatt volt szükség ezen módszerek

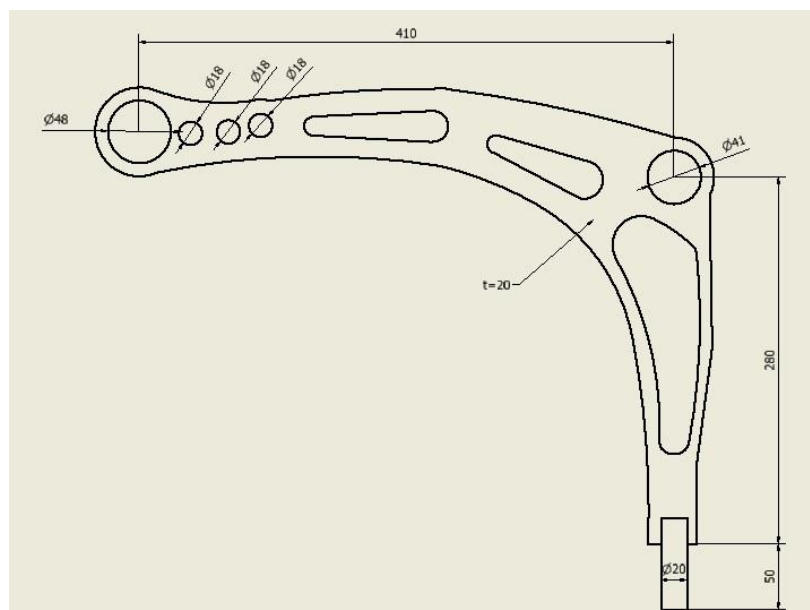
alkalmazására. Továbbá az esetleges baleset közben létrejövő erőhatásokat is képes lesz a lengőkar lehetőleg maradó alakváltozás nélkül elviselni.

Ebben az esetben is több szimulációt volt szükséges elvégezni. Az egyes tesztek után módosítottunk az alkatrészen és újra teszteltük. A végleges anyagvastagságot is meghatároztuk a terhelési szimulációk során, ami 20 mm lett. A folyamatok végére kialakult a végleges forma, amely a szimulációk alapján képes lesz ellenállni a ráható terheléseknek.



25. ábra: Terhelés szimuláció [Saját forrás]

Az elvégzett szimulációk után az alkatrész végleges méretekkel rendelkezett. A méretezés során a csatlakozási pontok egymáshoz viszonyított távolsága volt a fő szempont. Továbbá a lengőkarba szerelt csatlakozó alkatrészek, mint például a gömbcsuklók, a poliuretán szilent és a stabilizátor rúd bekötésének helye és mérete volt fontos számunkra. A méretezést 2D ábrázolással készítettük a könnyebb átláthatóság érdekében. Ezzel a módszerrel tiszta képet kapunk az alkatrész tényleges méretéről és a térbeli kiterjedéséről.



26. ábra: Lengőkar méretei [Saját forrás]

Ez a fajta méretezés nem az alkatrész gyártásához szolgál, hisz azt nem kézi megmunkálással fogjuk gyártani. A méretezés ebben az esetben tájékoztató jellegű, hogy a felhasználó informálva legyen a lengőkar méreteiről. A későbbiekben az alkatrész kereskedelmi forgalomba való hozatala esetén az alkatrészhez lehet csatolni, mint egy kiegészítő tájékoztató.

2.6 Anyagválasztás és gyártás

2.6.1 Számítások és szimulációk elemzése és az anyagválasztás

A kiszámított terheléseket betápláltuk a szimulációs programban, mely meghatározta a terhelések hatását és ezáltal a szükséges anyag megválasztásában is ez volt a fő szempont. A választásunk S235JR típusú ötvözetlen szerkezeti acélra esett. Az S235JR acél az EN 10025-2:2019 szabványban rögzített szerkezeti acélminőség. Szobahőmérsékleten jó szívóssággal és kiváló hegeszthetőséggel rendelkezik. Az általános ötvözetlen szerkezeti acélok egyik legelterjedtebb darabja. Az acél kémiai összetétele alacsony széntartalma és mérsékelt mangánszintet tartalmaz, amely megfelelő szilárdságot biztosít a jó alakíthatósági képesség megtartása mellett. Az alacsony ötvözőelem-tartalomnak köszönhetően kiválóan alkalmas hideg- és melegalakítási műveletekre egyaránt. Ez a típusú acél jól hegeszthető a főbb hegesztési eljárásokkal, mint a bevont elektródás, fogyóelektródás és védőgázos ívhegesztés. 16 mm alatti anyagvastagság esetén a minimális folyáshatár 235MPa ezen minőségű acél esetében. Az anyagvastagság növelésével a minimális folyáshatár értéke csökken. Az anyag szakítószilárdsága függ az alkatrész formájától, ezért egy szakítószilárdsági tartományt adnak meg a katalógusokban, mely 360-510 MPa közötti értéket határoz meg.

Az anyag viselkedése jól modellezhető rugalmas-plasztikus anyagként, amely a von Mises-féle folyási kritérium alapján pontosan jellemezhető. Az anyag képes rugalmasan viselkedni a terhelésekkel szemben, mely számunkra előnyt jelent. Az alkatrész beszerelés után folyamatosan változó terheléseknek lesz kitéve. A gyakorlatban az anyag feszültségállapotának kritikus értéke 235 MPa körüli értéken mozog.

Az anyagválasztás után a szimulációs programban betápláltuk a választott anyag szükséges tulajdonságait és újra elvégeztük a szimulációt. Az eredmények alapján a választott anyag teljes mértékben megfelel a felhasználásra. A szimuláció egy végleges ellenőrzés is volt egyben a gyártás előtt.

2.6.2 Gyártás

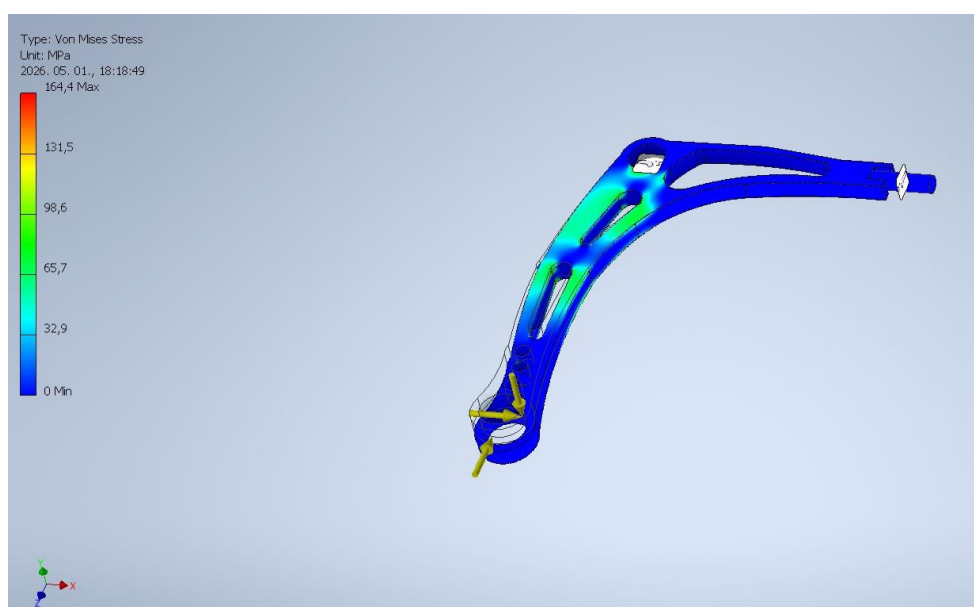
Az alkatrészek gyártásához előzetesen egy lemeztervet kellett készíteni, ugyanis az egyes darabokat plazmavágó gép segítségével vágtuk ki egy acéltáblából. A plazmavágás az egyik legelterjedtebb termikus darabolási technológia manapság. Jó vágási minőséget biztosít és kiemelkedő termelékenységssel rendelkezik. A plazmavágás olyan hővágási eljárás, mely során egy nagy sebességgel kiáramló magas hőmérsékletű ionizált gázoszlop olvasztja meg és fújja ki az anyagot a vágási területről. A plazma állapota az anyagok negyedik állapotának tekinthető. Ebben az esetben a gáz vezetővé válik az ionizáció miatt. A plazma hőmérséklete elérheti 20-30000 Celsius fokot is. A lángvágáshoz képest kisebb a hőhatásövezet. A plazmavágás minősége főként a vágógáztól és a berendezéstől függ. A berendezésnek stabilnak kell lennie vágás közben. A berendezést pontos vágási paraméterekkel kell beállítani a kívánt minőség elérése érdekében. A plazmavágási technológia nagy hőterhelést tesz a munkadarabra. A vágási felület sima és enyhén ferde. A folyamat során enyhe sorja és salak képződik.

Az alkatrészek összeállítását hegesztési eljárással végeztük. A hegesztés során egy semleges védőgázos, fogyóelektrodás ívhegesztőt használtunk. Az eljárás hivatalos megnevezése a MAG (Metal Active Gas) hegesztés. Ennél az eljárásnál szén-dioxidot vagy szén-dioxidot tartalmazó védőgázt használunk. Azért nevezik ezt semleges védőgázos hegesztésnek, mivel a szén-dioxid nem hoz létre redukáló környezetet és nem válik a hegfürdő alkotóelemévé. Viszont részt vesz a hegfürdő kémiai folyamatában. Az ív hőmérsékletén a szén-dioxid disszociál szén-monoxidra és oxigénre és ez az oxigén oxidációs folyamatot indít el. A létrejövő oxidáció befolyásolja a cseppátmérőt és növeli a beolvadást. Továbbá fokozza a hegesztés során az ívsűrűséget. Az argon gázzal szemben nagyobb fröcsköléssel és durvább varratképpel rendelkezik, viszont olcsóbban beszerezhető a szén-dioxid. A hegesztési eljárás is nagy hőterheléssel jár. Az ívhegesztésekre jellemzően ennél az eljárásnál is az elektromos ív hőjét használjuk fel a hozaganyag és az alapanyag megolvasztására. A hegesztési varrat ezen anyagok összeolvadása közben keletkezik folyamatos huzalelektroda adagolással.

Az alkatrészt az összeállítás után hőkezeli kellett, hisz az alapanyag kivágása és az utána történő hegesztés során is nagy hőterhelésnek volt kitéve. Ez a hőterhelés rontja az acél minőségét és nem felel meg az elvárt kritériumoknak. A hőkezelési eljárás során a hőkezelő kemencét 400 Celsius fokra melegítettük fel és az alkatrészt 8-10 percig tartottuk a kemencében. A kívánt anyagminőség elérésének érdekében az alkatrész visszahűtését úgy végeztük el, hogy a kemencét kikapcsoltuk és ajtaját kinyitva hagytuk lehűlni.

3 Eredmények és azok értékelése

A kitűzött célokat sikerült elérni és el tudtuk készíteni egy verseny körülmények közötti tesztelésre alkalmas futóművet. A terhelés szimuláció során a kapott eredmények egyértelműen azt mutatták, hogy a tervezett alkatrész képes maradandó alakváltozás nélkül elviselni a terheléseket. A választott anyag feszültségállapotának kritikus értéke 235 MPa. A szimulációk során az anyagban fellépő feszültség 150-170 MPa közötti tartományban változott.



27. ábra: Végleges terhelés szimuláció eredmény [Saját forrás]

A szimulációkban használt módszereknek köszönhetően valós képet kaptunk arról, hogy az alkatrészünk a valóságban hogyan fog viselkedni. A számunkra releváns eredményeket vizsgálva arra a következtetésre jutottunk, hogy az alkatrészt biztonságosan lehet valóságos körülmények között tesztelni. Azt fontos leszögezni, hogy a szimulált körülmények eltérhetnek a valóságtól, viszont egy azokhoz nagyban hasonlító eredményt kaphatunk. Ezekkel a szimulációkkal tudjuk a fejlesztések költségét csökkenteni lehet, ami a mi szempontunkból jelentős szereppel bír.

A futómű tesztelését szigorúan csakis az erre alkalmas zárt pályán lehetséges lebonyolítani. Az alkatrész beszereléséhez további kereskedelmi forgalomban beszerezhető alkatrészekre van szükség. A beszerelést csakis szakképesítéssel rendelkező szerelő végezheti el. A szerelést követően a futómű beállítása

szükséges, melyet hivatalosan kalibrált futómű állító gépen lehetséges. Versenyfelhasználású alkatrész lévén a megfelelő tapasztalatokkal rendelkező szakemberek ezt a műveletet manuálisan kalibrált gép nélkül is képesek elvégezni. Ebben az esetben a beállítás pontossága valamelyest csökken viszont még így is kielégítő. Verseny közbeni beállítás csak végső esetekben fordul elő. Pontos visszajelzéseket és tapasztalatokat a tesztelés során fogunk kapni az alkatrészeiről.

A tervezés kezdetén kitűzött célok egyike volt, hogy gazdaságosabb megoldás legyen a kereskedelmi forgalomban kapható társaihoz képest. A teljes munka alatt sikerült jelentős összeget megspórolni. Hozzávetőlegesen más gyártók készletei 500.000 forintos induló ártól kezdődnek és ez az összeg elmehet akár 1,500,000 forintig is. A mi készletünk pontos összege is változó amiatt, hogy egyes alkatrészeket nekünk is meg kell venni. A lengőkart és a módosított tengelycsontot figyelembe véve az anyag és munkaköltség valahol 150-200.000 között alakul. Az összeg főként az aktuális alapanyag áráról függ. A hozzávetőleges költségek alapján sikerült ezt a kritériumot is teljesíteni.

Az elkészült alkatrészeket három különböző versenyautóban fogjuk tesztelni. Ezek egyenként eltérnek egymástól, de azonos márkájú és azonos szériájú járművek. A legnagyobb eltérés a járművek teljesítményében és tömegében lesz. Az alkatrész beszerelhető lesz a Bmw E46-os, továbbá a korábbi E36-os szériájába is az eltérő gyártási évek ellenére. A versenysportban gyakran készítenek olyan alkatrészeket, mely egy adott típus több generációjához is kompatibilis. A mi esetünkben is így történt, mely lehetővé teszi a különböző teszteléseket. A tesztek során lesz lehetőségünk megfigyelni az alkatrész működését eltérő körülmények között.

4 Következtetések és javaslatok

A teljes munka egy remek tanulási lehetőség volt arra, hogy megismerjük a hétköznapi élettel eltérő felhasználású személyautókat. Rengetek technológiai megoldás a motorsportban lett egykor kifejlesztve, amit manapság már a hétköznapi életben használunk a járműveinkben. A versenykörülmények adta lehetőségek rengetek tesztelési módot nyújtanak biztonságos körülmények között. A zárt pályákon való tesztelés megengedi, hogy a megszokottól eltérő megoldásokat, fejlesztéseket is valós környezeti viszonyokba helyezzük. Az ilyen tényleges tesztek során jelentkezik rengetek olyan dolog, ami a tervező asztalnál nem mutatkozik meg.

A szimulációs környezet adta lehetőségeknek köszönhetően az alkatrészek tesztelése alacsony költségvetés mellett is lehetséges. A szimulációkban nem kell kockázatot vállalni anyagi vagy akár személyi károkra, mely biztonságosabb és szabadabb próbálkozási lehetőségeket biztosít. Ennek köszönhetően több gondolat és fejlesztési ötlet is válhat egy a valóságban is működő eredménnyé.

Az elvégzett munkával kapcsolatban mi is csak az éles tesztelés után tudunk majd konklúziót megállapítani. A tervezés és gyártás során jelentkező problémák újabb gondolatokat ébresztettek és sikeresen tovább fejlesztette a kész munkát.

Nem lehet elégszer hangsúlyozni, hogy más hasonló munkák esetén is a biztonságot kell elsősorban szem előtt tartani az esetleges anyagi károk és személyi sérülések elkerülése érdekében. A járművekben akár egy kis alkatrész is képes a teljes rendszer felborítani és veszélyt okozni.

A munka során fellépő problémák és azok megoldása segített egy tökéletesebb alkatrész elkészítésében. Az egyes hibák forrásának keresése közben mélyebb és hasznosabb tudásra sikerült szert tenni. A különböző tudásanyagok és gondolatmenetek segítették a munkát. Ezeket a későbbiekben is hasznosan lehet alkalmazni a további munkák és fejlesztések során.

5 Összegzés

A megszületett gondolat után tisztáztuk az ehhez szükséges feltételek és ennek megfelelően kezdtünk neki a munkálatoknak. A célunk egy jármű fejlesztése volt azáltal, hogy a futóművét módosítjuk és ezáltal optimalizáljunk a kívánt felhasználási feltételekhez. A felhasználás a motorsport egyik szakágában a drift szakágban történik.

Kezdeként összegyűjtöttük a szükséges tudásanyagot a fejlesztés elkezdéséhez. Alapvető követelmény ismerni a teljes rendszer minden egyes elemét és azok egyenként ellátott funkcióját és rendszerben való működését. Az évtizedekre visszanyúló tudásanyag és tapasztalatok segítették a munka előrehaladását.

A mai technológia adta lehetőségeket kihasználva elkezdődött a tervezés. Rendelkezésünkre álltak a tervező és szimulációs programok, melyek időt és pénzt spórolnak a felhasználók számára. A virtuális térben való tervezés fejlettsége nagy segítség volt számunkra és könnyedén el tudtuk készíteni a kívánt alkatrészt.

A kész tervek után kezdődhetett az alkatrész gyártása és összeszerelése. A gyártás során törekedtünk a gazdaságos megoldásokra. Néhány esetben kompromisszumot kellett kötni annak érdekében, hogy a kész termék kielégítse a vele szemben támasztott követelményeket.

Végezetül az alkatrészünk és a hozzátartozó kiegészítő darabok is elkészültek, melyek segítségével elértük a kívánt fejlesztés. Végso következtetéseket később tudunk az alkatrésszel szemben felállítani, hiszen a tesztelések összesége nem ért véget.

A munkafolyamat sikerességét az elkészült alkatrész mutatja. Továbbá a sikeres szimulációk összesége is azt bizonyítja, hogy a lengőkar fejlesztett változata helytáll az elvárt követelményeknek.

Irodalomjegyzék

- [1] Milliken W. F.- Milliken D. L.: *Race Car Vehicle Dynamics*. SAE International, 1995
- [2] Gillespie T. D.: *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers, 1992
- [3] Heisler H.: *Advanced Vehicle Technology*, Butterworth-Heinemann, 2012
- [4] Reimpell J.-Stoll H.: *Fahrwerktechnik: Fahrverhalten*, Vieweg Verlag, 2001
- [5] Bosch: *Automotive Handbook (9th ed.)*, John Wiley & Sons, 2004
- [6] Jörsen Reimpell- Jürgen W.- Betzler Bári Gergő-Hankovszki Zoltán- Kádár Lehel- Lévai Zoltán- Nagyszokolyi Iván: *Gépjárművek-Futóművek I.*, Typotex kiadó, 2012, ISBN 978-963-279-606-2
- [7] Lévai Z.: *Gépjármű futóművek*, In: Gépjárművek szerkezetana
{online} <http://www.lezo.hu/szerkezetan/futomuvek.html> (Letöltés időpontja: 2025.03.18. 14 óra 30 per)
- [8] Kádár Lehel- Dr. Varga Ferenc- Kőfalusi Pál: *Közúti járműrendszerek szerkezetana*, BME MOGI, 2014
- [9] Tiba Zsolt: *Hajtáslánc optimalizáció*, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 2020, ISBN: 978-963-473-904-3
- [10] Bohner-Gscheidle-Leyer-Pichler-Saier-Schmidt-Siegmayer-Zwicker: *Gépjárműszerkezetek*, Budapest Műszaki Kiadó, 2007, ISBN: 978-963-16-1867-9
- [11] dr. Gion János - Szilvási Bertalan - Tramontini Ferenc: *Korszerű gépjárműszerkezetek*, Budapest Közlekedési Minisztérium Oktatási Osztály, 1988
- [12] Gáspár Péter- Németh Balázs- Bokor József: *Járműirányítás*, Akadémia Kiadó, 2019, ISBN 978-963-454-329-9

- [13] Wilfried Staud: *Gépjárműtechnika*, Székesfehérvár Omár Bt., 1988, ISBN 963-85108-0-3
- [14] Szaller László- Zinner György: *Gépjárművek felépítése*, Ligatura Kiadó
- [15] Keller Ervin- Nagy Károly: *Gépjármű-szerkezetek Karbantartása és Javítása*, Budapest Műszaki Kiadó, 1984
- [16] Horst Gräter: *Gépkocsi-diagnosztika*, SIMÜFO Műszaki Fordító és Könyvkiadó, 2000
- [17] Kertész József: Gépjármű futóművek - MK3GEPFJ08JG20- Bevezető, 2022 {órai anyag}, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
- [18] Kertész József: Gépjármű futóművek - MK3GEPFJ08JG20 - Kerékelfüggesztés elemei és jellemzői, 2022 {órai anyag}, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
- [19] Kertész József: Gépjármű futóművek - MK3GEPFJ08JG20 – Futóművek jellemző paraméterei, 2022 {órai anyag}, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
- [20] Kertész József: Gépjármű futóművek - MK3GEPFJ08JG20 - Rugózás, 2022 {órai anyag}, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
- [21] Kertész József: Gépjármű futóművek - MK3GEPFJ08JG20- Vázfelőli bekötési pontok, 2022 {órai anyag}, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
- [22] Kertész József: Gépjármű futóművek - MK3GEPFJ08JG20 - Futómű megoldások, 2022 {órai anyag}, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
- [23] Személygépjárművek kormányzási rendszere
https://www.autoszektor.hu/sites/default/files/u1325/1_abra_0.jpg, (Letöltés időpontja: 2025.10.02. 10 óra 30 perc)
- [24] Utcai és versenyfelhasználású gumibroncsok összehasonlítása
https://www.tyremarket.com/tyremantra/racing-tyres-vs-street-car-tyres/?srsltid=AfmBOoq8e1KUu4fhvq71WR2bkC3EMYs_Z3Y8HREYxwgAMVIspDlI8c8t (Letöltés időpontja: 2025.10.11. 13 óra 40 perc)

[25] Kanyarodás közben bekövetkező alul-és túlkormányzott állapot
<https://encrypted->

[tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSjpu3Lmg6t1MixEO41ElJcQZBLrtc_NTzCyA&s](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSjpu3Lmg6t1MixEO41ElJcQZBLrtc_NTzCyA&s) (Letöltés időpontja: 2025.10.12. 9 óra 10 perc)

[26] BMW E46 erősített kivitelű első lengőkar készlet
<https://www.alkatracer.hu/termek/bmw-e46-elso-ket-lengokar-erosített-kivitel-meyle-hd> (Letöltés időpontja: 2025.10.14 15 óra 50 perc)

[27] Wisefab drift futómű készlet <https://www.wisefab.co.uk/wisefab-bmw-e46-m3-steering-lock-drift-angle-kit.html> (Letöltés időpontja: 2025.10.20. 18 óra 10 perc)