



A FORMULA EGYES AUTÓK HÁTSÓ SZÁRNYA ÉS A DRS

TDK dolgozat

Áramlástan szekció

Készítette:

Kreisz Dániel
Antal Sámuel
Koncsik Nataniel

Gépészmérnöki alapszak, Folyamattechnika szakirány
Gépészmérnöki Kar
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Témavezető:

Dr. Horváth Csaba, egyetemi docens

Beadás dátuma:

2022.11.07

Áramlástan Tanszék
Gépészmérnöki Kar
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

NYILATKOZAT

Név:	Kreisz Dániel
Neptun kód:	111111
Egyetem:	Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Kar:	Gépészmérnöki Kar
Tanszék:	Áramlástan Tanszék
TDK dolgozat címe:	A formula egyes autók hátsó szárnya és a DRS
TDK szekció:	Áramlástan szekció
Beadás dátuma:	2022.11.07.

Alulírott, Kreisz Dániel, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy a benyújtott jelen TDK dolgozat kizárólag saját munkám eredménye, a témavezető útmutatásai alapján meg nem engedett segítség nélkül magam készítettem.

A TDK dolgozatban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem, és a szerzői jogi szabályoknak megfelelően kezeltem (a szükséges lábjegyzet / végjegyzet hivatkozásokat, valamint az ábrák hivatkozását megfelelően helyeztem el).

Egyúttal elfogadom, hogy a TDK dolgozatban szereplő tudományos eredményeket a témavezető Tanszéke felhasználhatja további kutatási vagy oktatási célokra.

Budapest, 2022.11.06.

(aláírás)

TÁJÉKOZTATÓ

A mind nyomtatott, mind elektronikus formátumban benyújtott TDK dolgozat, valamint annak hivatalos bírálata a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszék könyvtárában (H-1111 Budapest, Bertalan L. 4-6. BME „Ae” épület) érhető el.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk megköszönni konzulenseinknek a rengeteg segítséget. Köszönjük a sok kiváló ötletet, javaslatot, ami nélkül ez a munka nem jöhetett volna létre. A közös munka általuk vált felejthetatlenné.

Budapest, 2022. 11. 07.

Kreisz Dániel, Antal Sámuel, Koncsik Nataniel

KIVONAT

A TDK dolgozatunk során kitűzött feladatunk az, hogy megállapítsuk, hogy A Formula 1-ben használt DRS (Drag Reduction System - Ellenállás Csökkentő Rendszer) mechanizmus mennyi előnyt ad egy, a DRS mechanizmust nem használó versenyautóval szemben. Másik mérési feladatunk arról szól, hogy különböző szárnyprofilok mekkora leszorítóerőt és forgatónyomatékot generálnak. Mindkét feladatunkat szélcsatornás méréssel tervezzük megvalósítani 3 különböző szárnyprofillal. A szárnyprofilokat 3D-s nyomtatással állítottuk elő. Célunk a legéletszerűbb adatok kimutatása, illetve, hogy minél látványosabb legyen mind a mérés, mind a végeredmény.

A méréshez a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszék Kármán Tódor Laboratórium Feketerigó 2 elnevezésű szélcsatornát használjuk, illetve a, mint már említett 3D nyomtatott szárnyprofilokat.

A dolgozatban kitérünk magának a DRS nyitó szerkezetének a működésére, illetve a használatára, valamint a hétköznapi aktív aerodinamikai elemekre is.

A kutatás nagy része a mérésen fog alapulni, itt elemezzük a szélcsatornából kapott eredményeket és igyekszünk minél több képi elemet beépíteni a dolgozatba a mérésről, hogy minden jól érthető és észlelhető legyen.

ABSTRACT

Our task set during our TDK thesis is to determine how much advantage the DRS (Drag Reduction System) mechanism used in Formula 1 gives compared to a racing car that does not use the DRS mechanism. Our other measurement task is about how much downforce and torque different wing profiles generate. We plan to implement both of our tasks with wind tunnel measurements with three different wing profiles. The wing profiles were produced by 3D printing.

Our goal is to show the most realistic data, and to make both the measurement and the final result as spectacular as possible.

For the measurement, we use the wind tunnel named Feketerigó 2 of the Budapest University of Technology and Economics Department of Flow Science, Kármán Tódor Laboratory, and the 3D printed wing profiles as already mentioned.

In the thesis, we cover the operation and use of the opening structure of the DRS itself, as well as the everyday active aerodynamic elements.

A large part of the research will be based on the measurement, here we will analyse the results obtained from the wind tunnel and try to include as many visual elements as possible in the thesis about the measurement so that everything is easy to understand and perceive.

Tartalom

Fogalmak	6
Légellenállás.....	6
Leszorítóerő.....	6
DRS	7
DRS működése, mechanizmusa	7
Hogyan nyílik ki a DRS?	9
Munkahenger.....	9
A munkahenger működési elve.....	10
A DRS Használata	10
A DRS más motorsportokban	11
További aktív aerodinamika.....	12
Mérések	14
0. mérés - szimuláció játékban	14
Mérésleírás	14
A mérés menete	14
1. egyenes:.....	14
2. egyenes:.....	16
Mért értékek.....	17
Számított értékek	18
Konklúzió.....	18
Szélcsatorna mérés	19
Mérésleírás	19
Mért értékek	24
Számolás menete.....	26
Számolás	27
Kiértékelés	29
Ábrajegyzék	32
Irodalomjegyzék.....	33

Fogalmak

Légellenállás

Definíció: A légellenállás olyan közegellenállás, amellyel mozgó test levegővel telt térben találkozódik.

Nagysága függ:

- sebességtől
- levegő sűrűségétől
- a testnek a levegővel találkozó felületének a nagyságával

képlet:

$$F_D = v^2 \cdot A \cdot c_D \cdot \frac{1}{2} \rho$$

c_D érték: légellenállási együttható, Kiszámítható az állandó sebesség mellett mért hajtóerőből, és a mért objektum homlokfelületéből. Minél alacsonyabb a c_D , annál kisebb a jármű légellenállása.

v , a sebesség (m/s)

A , a homlokfelület (m²)

ρ , a sűrűség (kg/m³)

Leszorítóerő

Definíció: A leszorítóerő a jármű aerodinamikai jellemzői által létrehozott lefelé irányuló emelőerő

képlet: $F_L = v^2 \cdot A \cdot c_L \cdot \frac{1}{2} \rho$

c_L érték: felhajtóerő együttható, Kiszámítható az állandó sebesség mellett mért hajtóerőből, és a mért objektum homlokfelületéből. Minél alacsonyabb a c_L , annál kisebb a járműre ható felhajtóerő.

v , a sebesség (m/s)

A , a homlokfelület (m²)

ρ , a sűrűség (kg/m³);

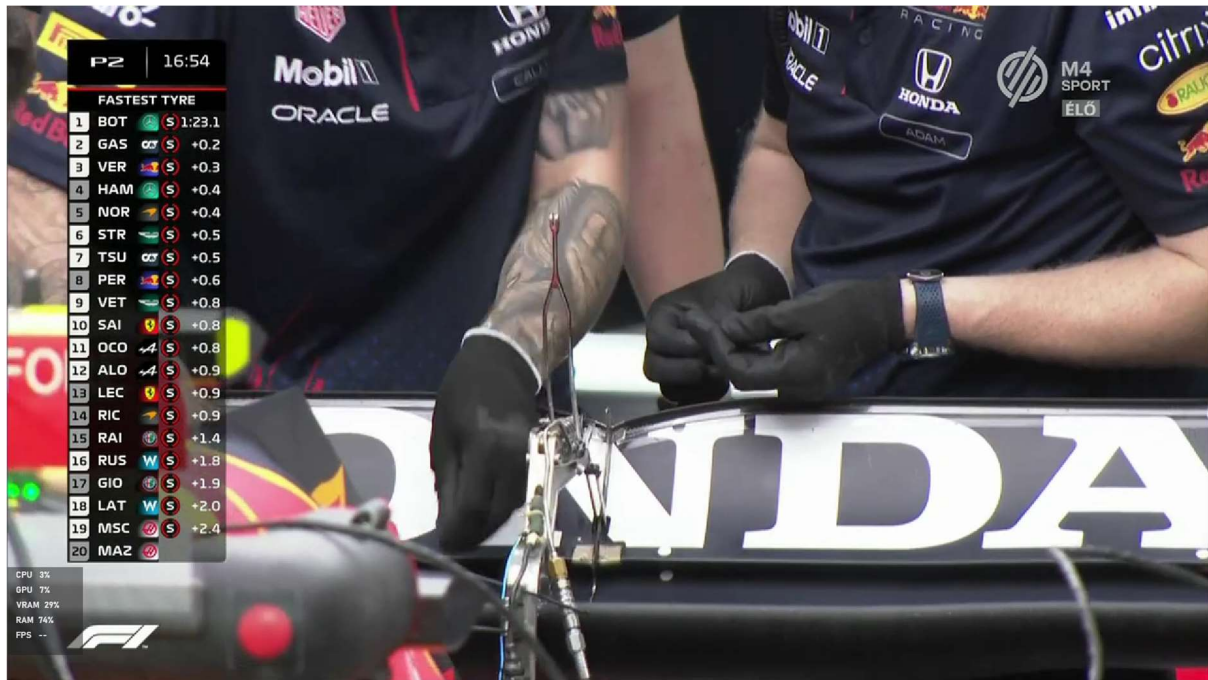
DRS

Drag Reduction System = Légellenállás-csökkentő Rendszer

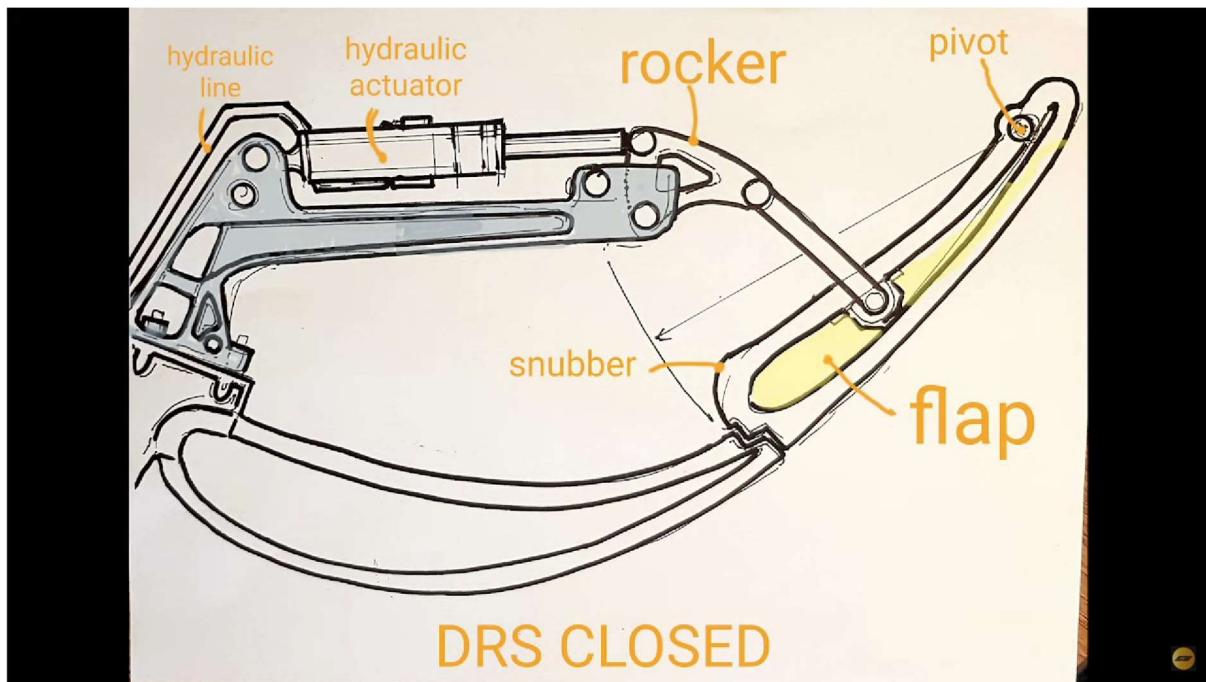
A Formula-1-ben és a DTM-ben használt rendszer, amely segíti az előzést.

A hátsó szárny felső idoma döntött helyzetből vízszintes helyzetbe áll, vagyis kinyílik, ezzel csökken a légellenállás és az autó plusz sebességre tesz szert.

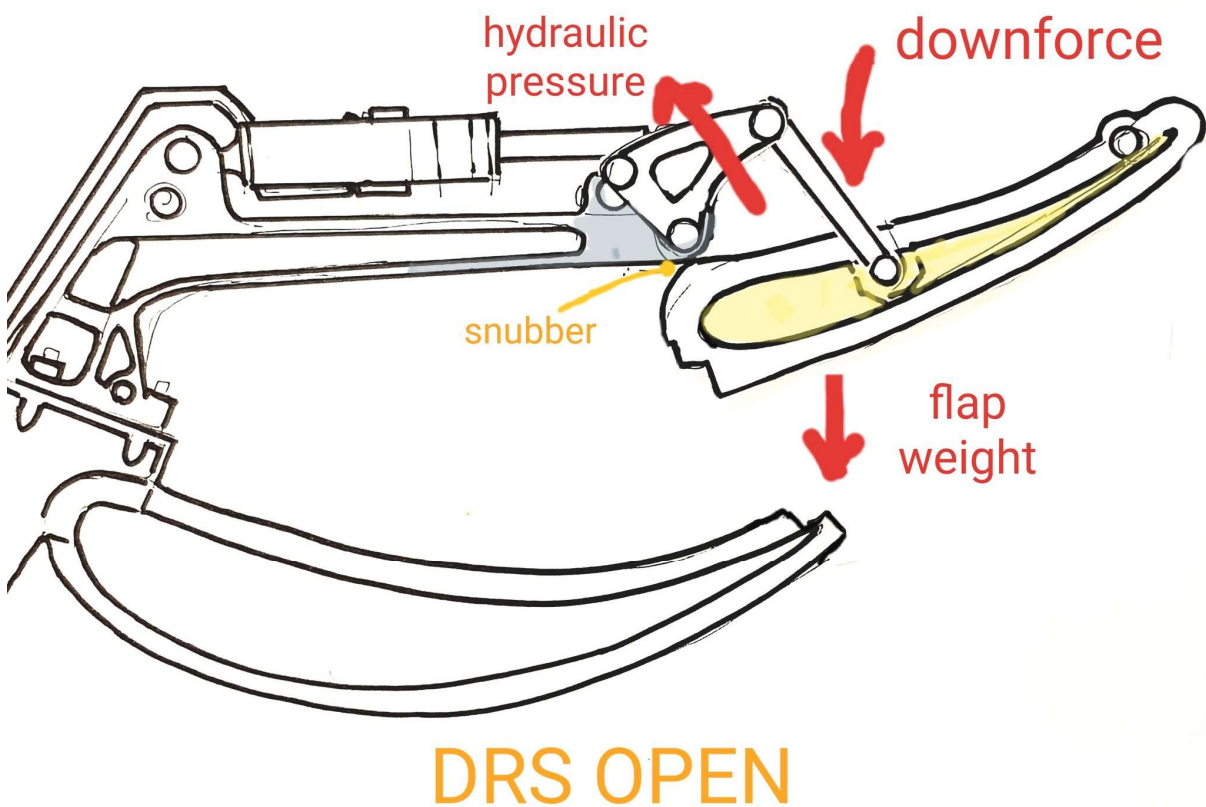
DRS működése, mechanizmusa



1. ábra: A DRS nyitószervezete szerelés közben.



2. ábra: A DRS nyitószervezete zárt állapotban



3. ábra: A DRS nyitószervezete nyitott állapotban



4. ábra: A DRS nyitószervezet a valóságban

Hogyan nyílik ki a DRS?

1. A pilóta megnyomja a DRS gombot.
2. Ekkor 4 csuklós hidraulikus munkahenger kitolja magát.
3. Kinyílt a DRS.

Munkahenger

„A munkahenger egy olyan energiaátalakító eszköz, ami a bele áramló közeg nyomási energiáját alakítja át lineáris vagy forgó mozgássá. A közeg lehet sűrített levegő vagy hidraulika olaj.

Sűrített levegő használata esetén pneumatikus munkahengerekről, míg hidraulika olaj esetén hidraulikus munkahengerekről beszélünk. A két különböző működtető közeg egyben meghatározza a munkahenger kialakítását és az alkalmazási területét is. A sűrített levegő összenyomhatóságából, gyorsabb áramlási sebességéből adódóan a munkahenger kialakítása egyszerűbb és olcsóbb, nagy sebességekre képes, de kisebb erők kifejtésére alkalmas. A hidraulika olaj viszont ezzel szemben nem összenyomható, lassabb áramlású és környezetre is veszélyes, emiatt a munkahenger kialakítása robusztus és drága, kisebb mozgási sebességekre képes, de hatalmas erők kifejtésére alkalmas, melyet nem csak mozgás közben, hanem inaktív állapotban is képes tartani.” Wikipédia munkahenger oldala alapján [12]

A munkahenger működési elve

Egy pneumatikus munkahenger belseje mozgás közben

A munkahenger belsejébe áramló közeg nyomási energiája a dugattyú felületére nyomást gyakorol, majd az ebből származó erő ($F=P \cdot A$)

F- nyomóerő

P- Nyomás

A- erő által nyomott felület nagysága

azt mozgásba hozza. A dugattyú mozgásának iránya attól függ, hogy melyik oldalról lesz nagyobb ez az erő, természetesen a mozgás irányával szemben levő kamra tartalmát hagyni kell kifelé áramolni.

Az egyoldali dugattyúrúd kivezetéses munkahenger esetén a dugattyú felülete a dugattyúrúd felőli oldalon kisebb (a dugattyúrúd által lefedett keresztmetszet miatt), ha tehát a két kamra nyomása azonos, akkor a dugattyúrúd kifelé mozog. A különböző felület jól használható, mivel vannak olyan esetek amikor csak az egyik irányban fontos a kifejtett erő nagysága (pl. prések, ahol csak a nyomás kifejtése fontos, a visszahúzás csak annyira, hogy elemelkedjen a munkadarabtól), a differenciál munkahenger pedig pontosan kétszer akkora erőt tud kifejtetni a dugattyú kifelé mozgása közben, mint a másik irányban.

A dugattyúrúd nélküli és az átmenő dugattyúrudas munkahengerek esetén a nyomás által kifejtett erő mindkét irányban (az azonos felület miatt) azonos.

A DRS Használata

A versenyző az edzések alatt bármikor használhatja a pálya kijelölt pontjain, de a futamon, csak a 3. kör megkezdése után, száraz körülmények között lehet használni a kijelölt előzési zónában. Az előzési zóna előtt kijelölt mérési ponton - általában 2 kanyarral az aktiválási pont előtt - kap jelzést a versenyző, hogy használhatja-e a rendszert. Ezen a ponton mérik az üldöző és az üldözött távolságát. A DRS-t akkor használhatja a támadó helyzetben lévő versenyző, ha az előtte haladóhoz képest legfeljebb 1 másodperc a hátránya és körön belül vannak. Ilyenkor a versenyző megnyomja a DRS gombot, így a hátsó szárny felső idoma vízszintes helyzetbe áll, vagyis kinyílik, ezzel csökken a légellenállás és az autó plusz sebességre tesz szert. A rendszer fékezéskor automatikusan visszazár.

A DRS más motorsportokban

A DRS-t szintén használják a Formula 2 és Formula 3-ban.

Amikor először bemutatkozott a FIA F3 2017-ben - amikor a széria még GP3 néven futott - a pilóták csak 6 körön keresztül tudták használni a versenyeken, és négyszer sprint versenyeken. 2019 óta ugyanazok a szabályok vonatkoznak a DRS-re a Formula 3-ban, mint a Formula 1-ben. A DRS a Formula 2-ben azóta használják, amióta GP2 néven futott, 2015-ben. a széria tovább használta a DRS-t, ugyanúgy, amikor be lett mutatva az új F2-es autó 2018-ra.

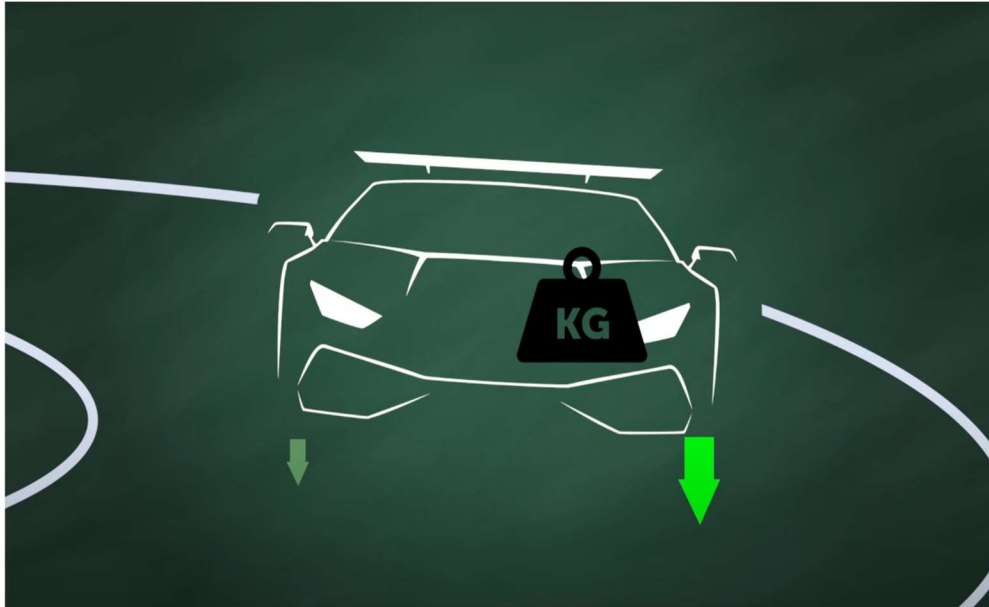
Más szériák korábban ugyanúgy használták a DRS-t, mint az F1, például a DTM a GT3 szabályok 2021-es elfogadása előtti években.

Az előzést segítő eszközök gyakoriak más motorsport-sorozatokban. De ezek magukban foglalják a motor teljesítményének növelését egy meghatározott ideig minden versenyen (például az IndyCar push-to-pass rendszere és a Super Formula előzési rendszere), vagy akárcsak a Formula E támadó módja, amely lehetővé teszi a pilóták számára, hogy átmenetileg erősebb energiafelhasználásban futtathassanak egy beállítást, míg a teljes időtartam versenyenként eltérő lehet.

További aktív aerodinamika

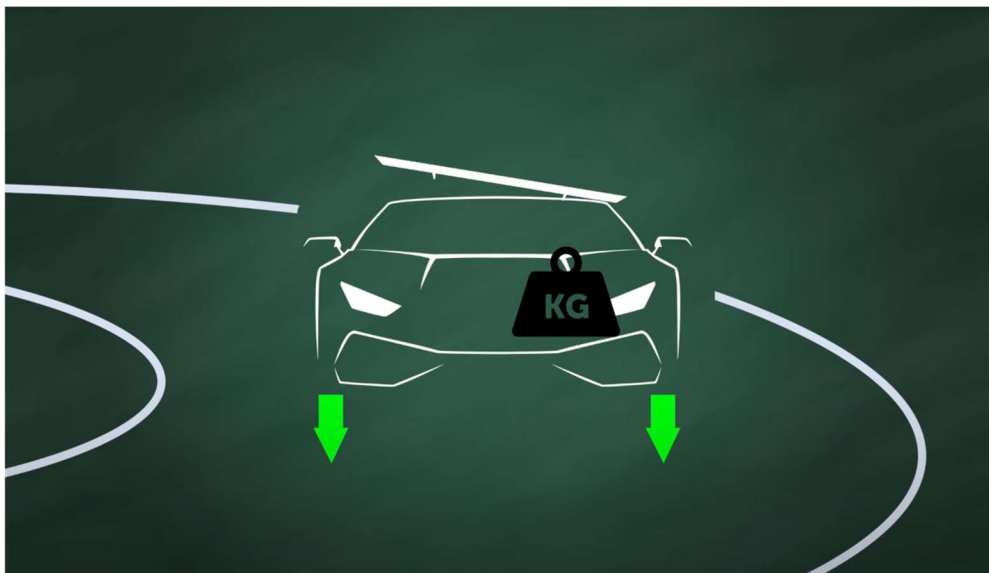
Az Aktív aero-s versenyautóautó, amit érdemes külön elemezni: Zenvo TSR-S

Kanyarban több tapadás van a külső kerekeken, de a Zenvo csapata megpróbálta úgy kialakítani az autót, hogy mindkét oldalon egyenlő tapadás legyen.



5. ábra: Kanyarban több tapadás van a külső kerekeken

A Zenvo megoldás az volt, hogy a hátsó szárnyat egy aktív aerodinamikai elemmé változtatták, mégpedig úgy, hogy a kanyar külső oldala felé dőlt a szárny, ezzel kiegyensúlyozva a tapadási viszonyokat



6. ábra: A Zenvo csapatának a megoldása



7. ábra: A Zenvo TSR-S aktív hátsó szárnya működés közben a valóságban

Mérések

0. mérés - szimuláció játékban

Mérésleírás

Felvettük A F1 2020 játékban azt, ahogy két általunk kiválasztott pont között mennyi időbe telik a versenyautónak, hogy eljusson A pontból B pontba, illetve mekkora végsebességgel. A versenyautót beállítottuk úgy, hogy mindig ugyanolyan gyors legyen.

A mérés menete

A mérést F1 2020 játékban, az Azerbajdzsáni Nagydíj helyszínén végeztük, ahol két DRS zóna van. Mindkettő DRS zónát háromszor DRS-sel és háromszor DRS nélkül teszteltük. A képeken látható számláló sajnos képkockákban számította a másodperc tört értékeit, de kiszámoltuk, hogy 0,0416 másodperc egy képkocka, szóval lehetett számolni a felvétellel.

FPS=24

$1/24=0,0416$

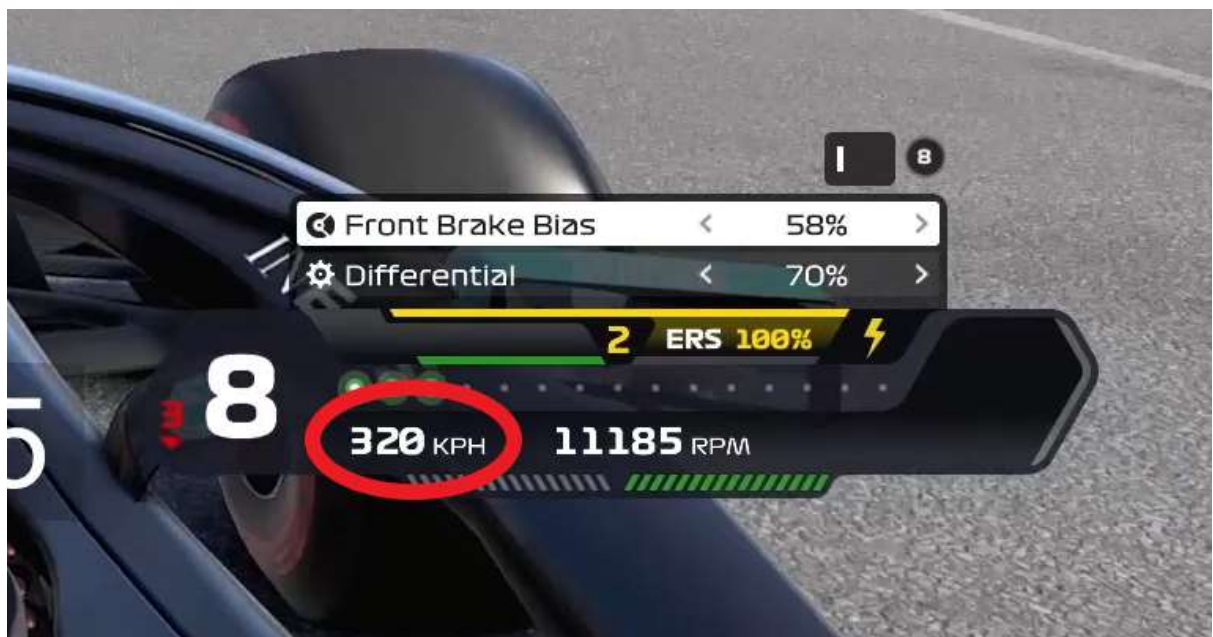
1. egyenes:



8. ábra: A pont, látszik, a képen, hogy a DRS jelző 0-án van, innen indul az időzítő



9. ábra: B pont, ide néztük az idő végét, illetve a végsebességet is (9.ábra, 10.ábra)



10. ábra: B pont, ide néztük az idő végét, illetve a végsebességet is (9.ábra, 10.ábra)

2. egyenes:



11. ábra: A pont, látszik, a képen, hogy a DRS jelző 0-án van, innen indul az időzítő



12. ábra: B pont, ide néztük az idő végét, illetve a végsebességet is

Mért értékek

	v (km/h)	t (s)
1.	320	9
2.	320	8.96
3.	320	8.96

a) első egyenes DRS használata nélkül

	v (km/h)	t (s)
1.	332	8.75
2.	332	8.75
3.	332	8.75

b) első egyenes DRS használatával

	v (km/h)	t (s)
1.	314	10.83
2.	315	10.79
3.	315	10.79

c) második egyenes DRS használata nélkül

	v (km/h)	t (s)
1.	324	10.67
2.	322	10.71
3.	323	10.62

d) második egyenes DRS használatával

v - max. sebesség (km/h)

t - idő (s)

Számított értékek

	$\underline{v}$ (km/h)	$\underline{t}$ (s)
a)	320	8.97
b)	332	8.75
c)	315	10.8
d)	323	10.67

$\underline{v}$ - átlagos sebesség (km/h)

$\underline{t}$ - átlagos idő (s)

Számolás menete:

Minden mérés részt háromszor végeztünk, így mindig az átlagot vettük, és úgy jöttek ki az eredmények.

Pl.:

a)

$$v_1 = 320 \text{ km/h}$$

$$v_2 = 320 \text{ km/h}$$

$$v_3 = 320 \text{ km/h}$$

$$v_{\text{átlag}} = (320 + 320 + 320) / 3 = 320 \text{ km/h}$$

$$t_1 = 9 \text{ s}$$

$$t_2 = 8.96 \text{ s}$$

$$t_3 = 8.96 \text{ s}$$

$$t_{\text{átlag}} = (9 + 8.96 + 8.96) / 3 = 8.973 \text{ s} \sim 8.97 \text{ s}$$

Konklúzió

Összesen Baku 0,37 másodperccel gyorsabb DRS-sel, mint DRS nélkül az F1 2020 játék szimulációja alapján, mivel az első egyenesben 0,24, illetve a másodikban 0,13 másodperccel gyorsabb DRS-sel, mint anélkül.

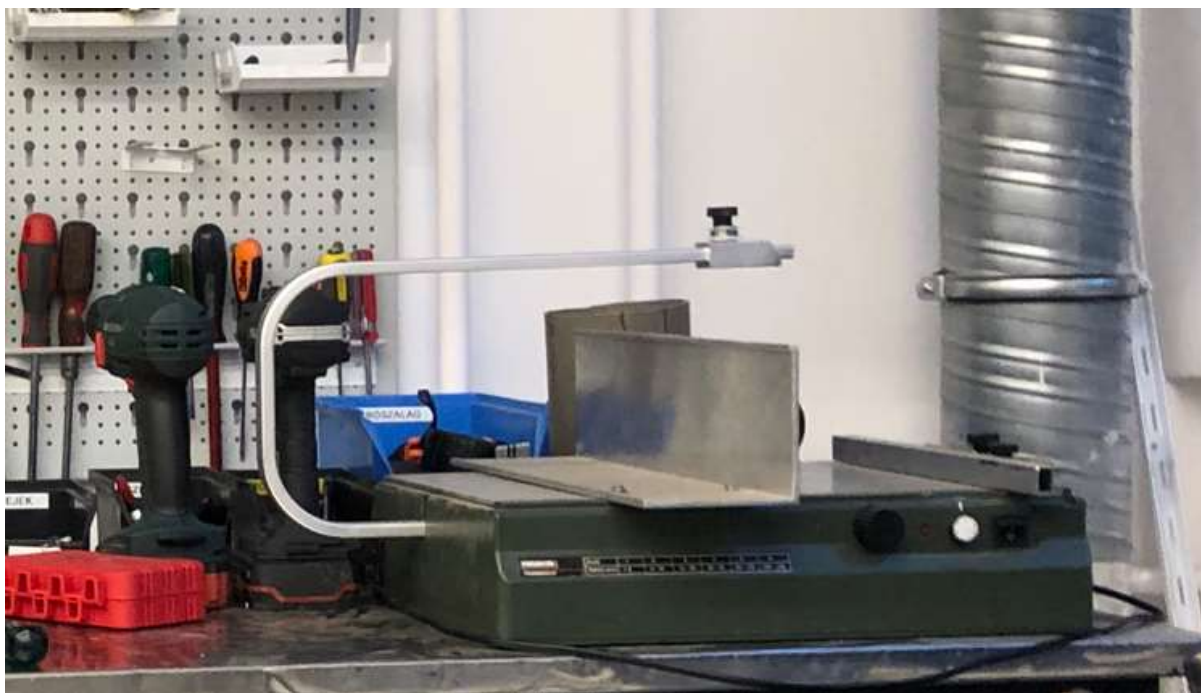
Szélcsatorna mérés

Mérésleírás

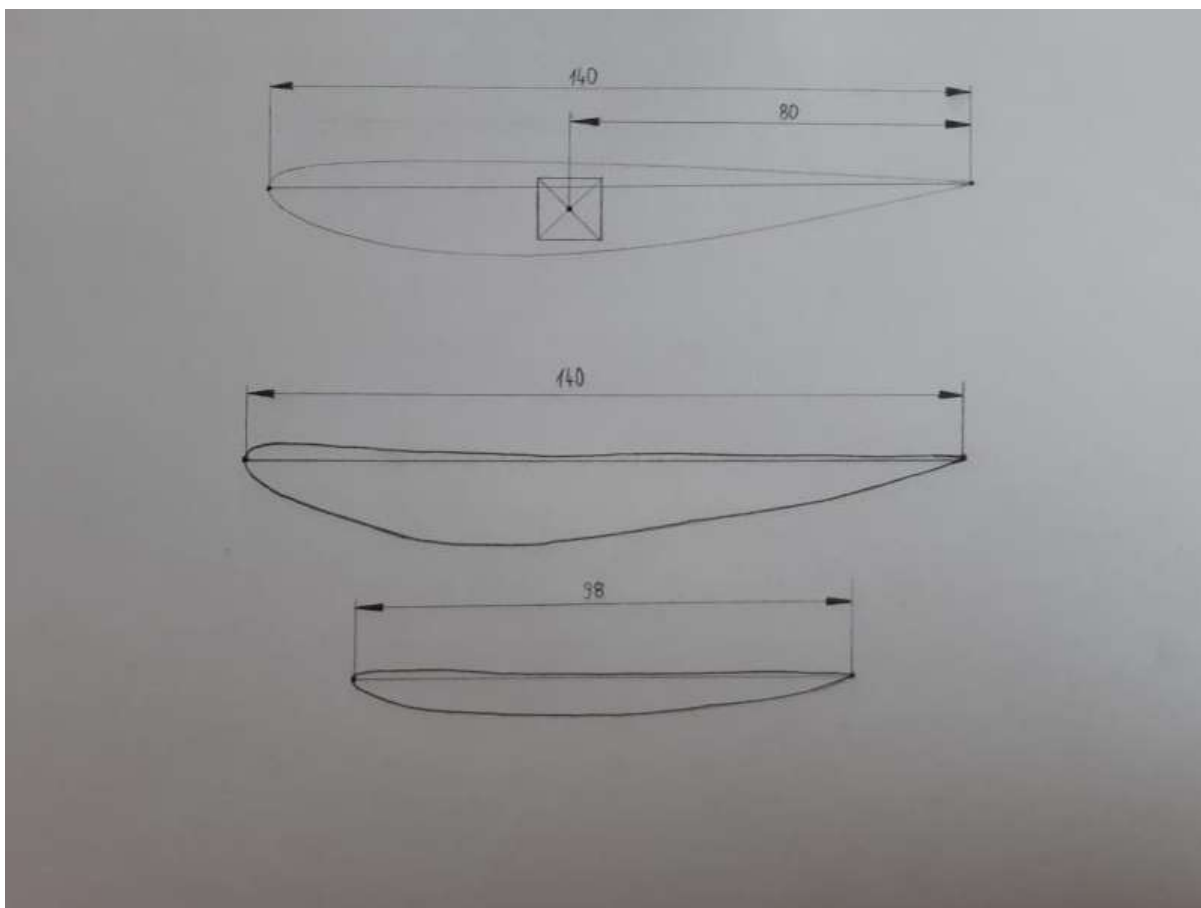
A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karának Áramlástan Tanszékének a Kármán Tódor laboratóriumában mértünk. A szélcsatorna, amit használtunk, az a Feketerigó 2 szélcsatorna volt. A mérésben a célunk volt, hogy kimutassuk, kiszámoljuk a szélcsatornában mért szárnyprofilok előnyét és hátrányát, a leszorítóerő és a légellenállás formájában. Mérésünk alatt két különböző méretű szárnyprofilt mértünk. A kisebb szárnyprofil polisztirolból készült, amit hővágóval méretre vágtunk. Az egyik nagy szárnyprofilt ugyanezzel a technikával készítettük, a másikat 3D nyomtatóval nyomtattuk. Tehát mérésünk során ezt a 3 szárnyprofilt használtuk. A szárnyprofilokat úgy helyeztük be a szélcsatornába, hogy egy Formula 1-es versenyautó hátsó szárnyának pontos mását kapjuk. Ugyanezt csináltuk a nagyobb szárnyprofillal is. A versenyautók hátsó szárnya két szárnyprofilból áll. Egy “felsőből” és egy “alsóból”. Az alsó szárnyprofil állandó volt, itt a nagyobb polisztirolból készültet használtuk. A felső nem volt állandó, ennek a dőlésszögét két különböző pozícióban teszteltük, és a kisebbet és a nagyobbat mérésenként változtattuk.



13. ábra: A Budapesti Műszaki Egyetem áramlástani szakán a Kármán Tódor laboratórium



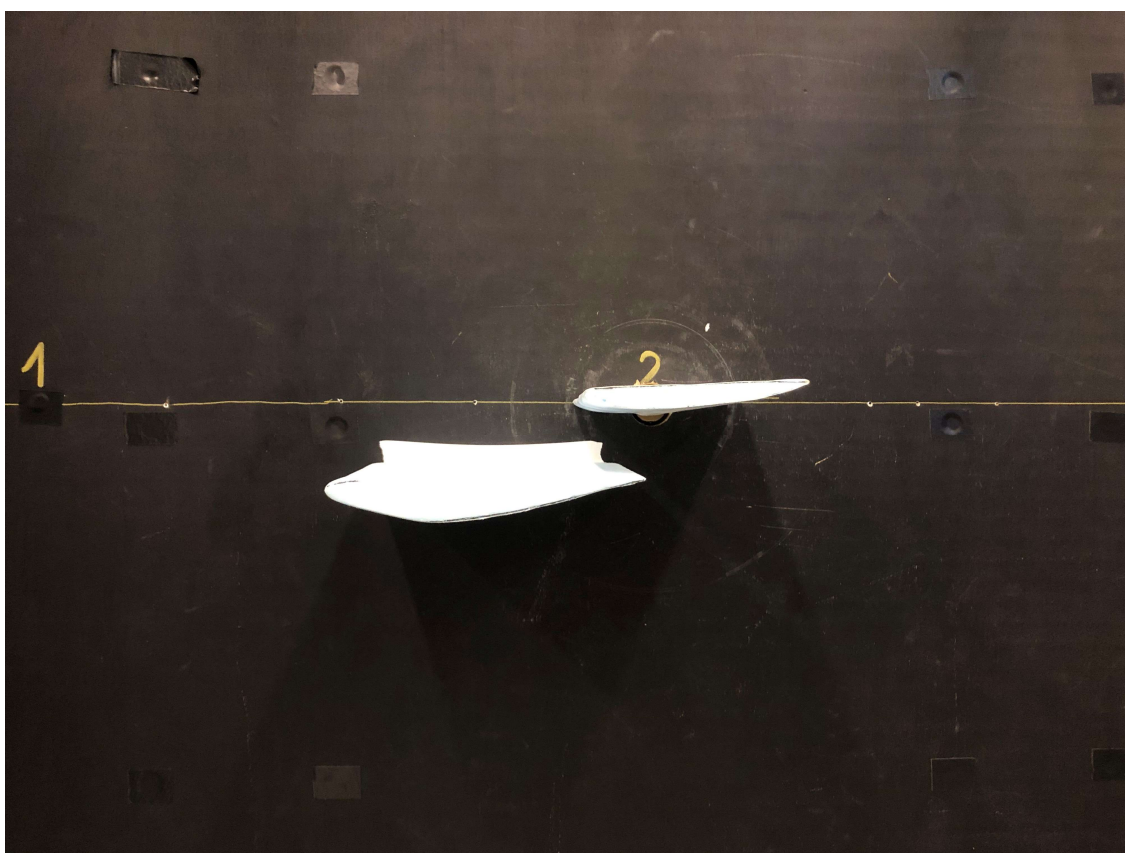
14. ábra: A hővágó, amivel méretre vágtuk a szárnyprofilokat



15. ábra: A szárnyprofilok tervrajza



16. ábra: A „kisebb15zart” szárnykonfiguráció



17. ábra: A „kisebb30nyitott” szárnykonfiguráció



18. ábra: szélcsatorna beállítása közben (18. ábra, 19.ábra)



19. ábra: szélcsatorna beállítása közben (18. ábra, 19.ábra)



20. ábra: A „nagyobb30zart” szárnykonfiguráció

Mért értékek

Mérési pont	F_x [g]	F_{y1} [g]	F_{y2} [g]	v [m/s]
1.kisebb30zart	108,318	-1,014	-103,342	16,0
2.kisebb30nyitott	19,347	-54,395	-51,388	16,0
3.kisebb15zart	61,198	-71,446	-98,323	15,7
4.kisebb15nyitott	20,177	-54,626	-55,946	16,1
5.nagyobb30zart	142,816	-113,255	-160,609	15,9
6.nagyobb30nyitott	16,160	-39,387	-8,966	15,9
7.nagyobb15zart	75,229	-94,357	-106,355	16,1
8.nagyobb15nyitott	16,782	-39,384	-4,222	16,2

Táblázat: A mérési pontokhoz tartozó értékek

Mérési pont	Magyarázat
1.kisebb30zart	a 2 felső szárny elemként alkalmazott szárnyprofil közül itt a kisebbet használtuk és a felső szárnyelem dőlésszöge 30° volt a vízszintes síkhoz képest, valamint itt zárt helyzetben van.
2.kisebb30nyitott	a 2 felső szárny elemként alkalmazott szárnyprofil közül itt a kisebbet használtuk és a felső szárnyelem dőlésszöge 30° volt a vízszintes síkhoz képest, valamint itt nyitott helyzetben van.
3.kisebb15zart	a 2 felső szárny elemként alkalmazott szárnyprofil közül itt a kisebbet használtuk és a felső szárnyelem dőlésszöge 15° volt a vízszintes síkhoz képest, valamint itt zárt helyzetben van.
4.kisebb15nyitott	a 2 felső szárny elemként alkalmazott szárnyprofil közül itt a kisebbet használtuk és a felső szárnyelem dőlésszöge 15° volt a vízszintes síkhoz képest, valamint itt nyitott helyzetben van.
5.nagyobb30zart	a 2 felső szárny elemként alkalmazott szárnyprofil közül itt a nagyobbat használtuk és a felső szárnyelem dőlésszöge 30° volt a vízszintes síkhoz képest, valamint itt zárt helyzetben van.
6.nagyobb30nyitott	a 2 felső szárny elemként alkalmazott szárnyprofil közül itt a nagyobbat használtuk és a felső szárnyelem dőlésszöge 30° volt a vízszintes síkhoz képest, valamint itt nyitott helyzetben van.
7.nagyobb15zart	a 2 felső szárny elemként alkalmazott szárnyprofil közül itt a nagyobbat használtuk és a felső szárnyelem dőlésszöge 15° volt a vízszintes síkhoz képest, valamint itt zárt helyzetben van.
8.nagyobb15nyitott	a 2 felső szárny elemként alkalmazott szárnyprofil közül itt a nagyobbat használtuk és a felső szárnyelem dőlésszöge 15° volt a vízszintes síkhoz képest, valamint itt nyitott helyzetben van.

gravitációs gyorsulás	nagyobb szárnyelem húrhossza	kisebb szárnyelem húrhossza	szárny szélessége	nagyobb szárny vastagsága	kisebb szárny vastagsága	levegő sűrűsége
$g \left[\frac{m}{s^2}\right]$	a [mm]	b [mm]	c [mm]	d1 [mm]	d2 [mm]	$\rho \left[\frac{kg}{m^3}\right]$
9,81	140	98	200	18	8	1,199

Táblázat: Egyéb mért értékek

Mért értékek magyarázata

F_x	az áramlás irányára merőlegesen mért erő a szárnyon
F_{y1}	az áramlás irányára függőlegesen 1. mért erő a szárnyon
F_{y2}	az áramlás irányára függőlegesen 2. mért erő a szárnyon

Számolás menete

A számolás során a mért mennyiségekből a c_D és c_L ellenálláserő-, és felhajtóerő-tényezőt szeretnénk kiszámolni az alábbi képlet alapján:

$$F_x = v^2 \cdot A \cdot c_D \cdot \frac{1}{2} \rho \text{ és}$$

$$F_y = v^2 \cdot A \cdot c_L \cdot \frac{1}{2} \rho$$

Ezeket átrendezzük c_D és c_L értékekre:

$$c_D = \frac{2 \cdot F_x}{v^2 \cdot A \cdot \rho} [1] \text{ és}$$

$$c_L = \frac{2 \cdot F_y}{v^2 \cdot A \cdot \rho} [1]$$

Ezen számolásokat SI mértékegységekkel végezzük. Eddig a számoláshoz ismertek a ρ és a v értékek.

Első lépésként a mért erőket számoljuk át [N]-ba.

$$F_x[\text{N}] = \frac{F_x[\text{g}] \cdot g}{1000} [\text{N}]$$

$$F_{y1}[\text{N}] = \frac{F_{y1}[\text{g}] \cdot g}{1000} [\text{N}]$$

$$F_{y2}[\text{N}] = \frac{F_{y2}[\text{g}] \cdot g}{1000} [\text{N}]$$

Ezután a két F_y értéket összeadjuk, hogy megkapjuk a felhajtóerőt:

$$F_y = F_{y1} + F_{y2} [\text{N}]$$

Következő lépés a vetület-keresztmetszet kiszámítása:

Az alsó szárnyelem vastagsága végig $d_1 = 18$ [mm]

A döntött szárnyelemek vetülete az áramlásra merőlegesen az alábbi módon számolható:

$$a_1 = a \cdot \sin \alpha, \text{ ahol esetünkben az } \alpha \text{ } 15^\circ \text{ vagy } 30^\circ$$

Innen a hátsó szárny teljes vetület-keresztmetszete az alábbi módon számolható:

$A = \frac{(a_1 + d_1) \cdot c}{10^6} [m^2]$, azért kell 10^6 -nal elosztani a szorzatot, mert a hosszmértékek [mm]-ben vannak megadva, viszont nekünk $[m^2]$ -ben kell a felület.

Abban az esetben, ha a szárnyat nyitott állásban vizsgáljuk, akkor a vetület-keresztmetszete:

$A = \frac{2 \cdot d \cdot c}{10^6} [m^2]$, amikor a felső elemnél is a nagyobb szárnyelem van, mivel ebben az esetben mindkét szárnyelem vízszintes, így csak a vastagságuk az a méret, ami merőleges az áramlás irányára.

$A = \frac{(d_1+d_2) \cdot c}{10^6} [m^2]$, amikor a felső elemnél a kisebb szárnyelem van, mivel ebben az esetben mindkét szárnyelem vízszintes, így csak a vastagságuk az a méret, ami merőleges az áramlás irányára.

Miután minden részeredményt kiszámoltunk, a kapott értékeket behelyettesítjük az első egyenletbe:

$$c_D = \frac{2 \cdot F_x}{v^2 \cdot A \cdot \rho} [1] \text{ és}$$

$$c_L = \frac{2 \cdot F_y}{v^2 \cdot A \cdot \rho} [1]$$

Számolás

A számolást bemutatjuk egy példán keresztül, melynek az 1. mérési pontot választottuk.

Első lépésként a mért erőket számoljuk át [N]-ba.

$$F_x[N] = \frac{F_x[g] \cdot g}{1000} = \frac{108,318 \cdot 9,81}{1000} = 1,062 [N]$$

$$F_{y1}[N] = \frac{F_{y1}[g] \cdot g}{1000} = \frac{-66,379 \cdot 9,81}{1000} = -0,651 [N]$$

$$F_{y2}[N] = \frac{F_{y2}[g] \cdot g}{1000} = \frac{-103,341 \cdot 9,81}{1000} = -1,013 [N]$$

Ezután a két F_y értéket összeadjuk, hogy megkapjuk a felhajtóerőt:

$$F_y = F_{y1} + F_{y2} = -0,651 + -1,013 = -1,664 [N]$$

Az számított erők táblázatosan:

Mérési pont	$F_x[N]$	$F_{y1} [N]$	$F_{y2} [N]$	$F_y [N]$
1.kisebb30zart	1,063	-0,651	-1,014	-1,665
2.kisebb30nyitott	0,190	-0,534	-0,504	-1,038
3.kisebb15zart	0,600	-0,701	-0,965	-1,665
4.kisebb15nyitott	0,198	-0,536	-0,549	-1,085
5.nagyobb30zart	1,401	-1,111	-1,576	-2,687
6.nagyobb30nyitott	0,159	-0,386	-0,088	-0,474
7.nagyobb15zart	0,738	-0,926	-1,043	-1,969
8.nagyobb15nyitott	0,165	-0,386	-0,041	-0,428

Következő lépés a vetület-keresztmetszet kiszámítása:

$$a_1 = a \cdot \sin \alpha = 98 \cdot 0,523 = 49 [mm]$$

Innen a hátsó szárny teljes vetület-keresztmetszete az alábbi módon számolható:

$$A = \frac{(a_1+d_1) \cdot c}{10^6} = \frac{(49+18) \cdot 200}{10^6} = 0,0114[m^2] = 13400[mm^2]$$

Nyitott esetben:

$$A = \frac{(d_1+d_2) \cdot c}{10^6} = \frac{(18+8) \cdot 200}{10^6} = 0,0052[m^2] = 5200[mm^2]$$

A számított vetületek:

Mérési pont	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
A [mm ²]	13400	5200	8672,853	5200	17600	7200	10846,933	7200

Miután minden részeredményt kiszámoltunk, a kapott értékeket behelyettesítjük az első egyenletbe:

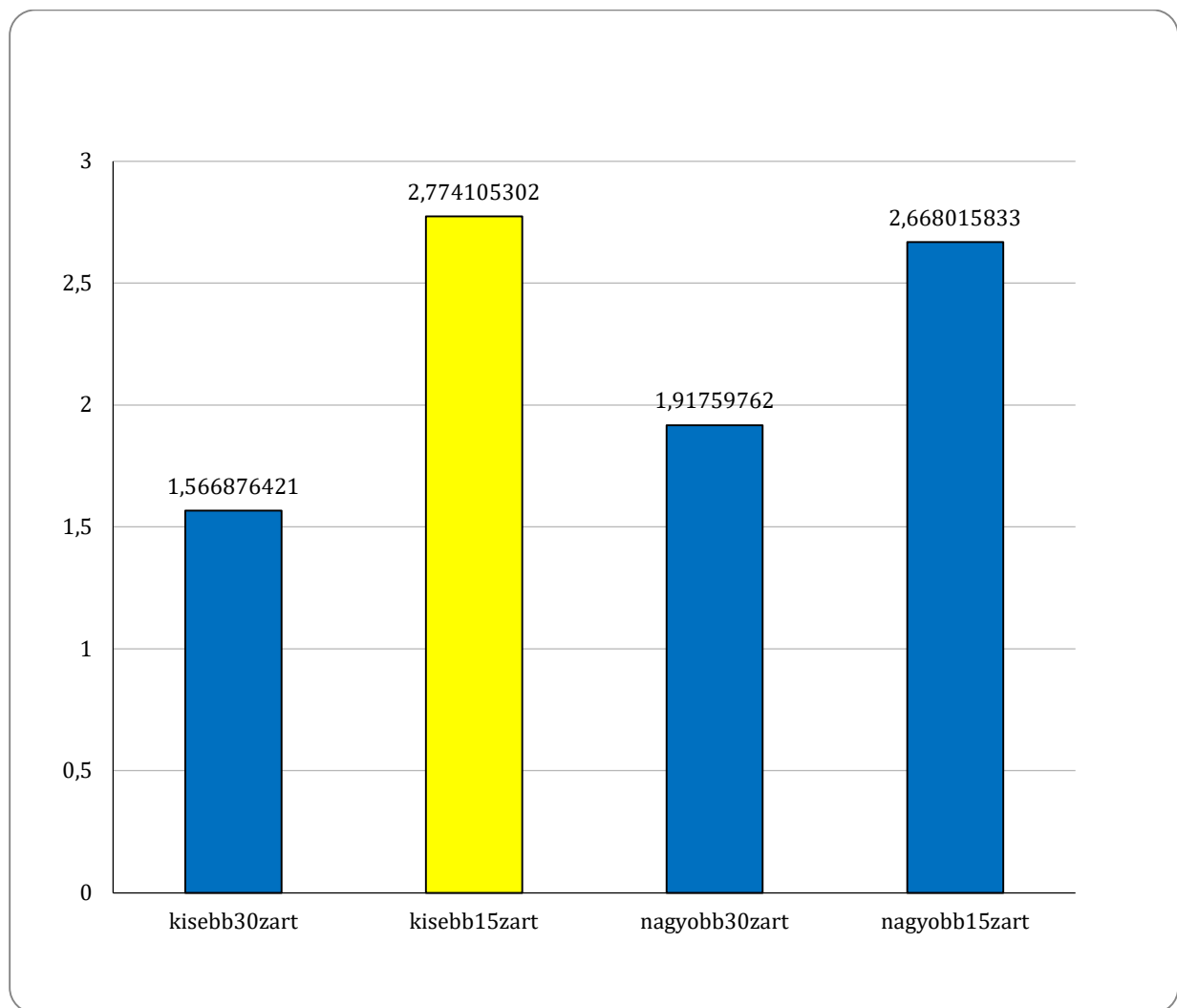
$$c_D = \frac{2 \cdot F_x}{(v^2 \cdot A \cdot \rho)} = \frac{2 \cdot 1,062}{(16^2 \cdot 11400 \cdot 1,199)/1000000} = 0,605 [1] \text{ és}$$

$$c_L = \frac{2 \cdot F_y}{(v^2 \cdot A \cdot \rho)} = \frac{2 \cdot -1,664}{(16^2 \cdot 11400 \cdot 1,199)/1000000} = -0,583 [1]$$

Az eredmények összefoglalva táblázatosan:

Mérési pont	F_x [N]	F_y [N]	A [mm ²]	c_D [1]	c_L [1]
1.kisebb30zart	1,063	-1,665	13400	0,515	-0,807
2.kisebb30nyitott	0,190	-1,038	5200	0,237	-1,298
3.kisebb15zart	0,600	-1,665	8672,853	0,466	-1,294
4.kisebb15nyitott	0,198	-1,085	5200	0,245	-1,343
5.nagyobb30zart	1,401	-2,687	17600	0,524	-1,005
6.nagyobb30nyitott	0,159	-0,474	7200	0,146	-0,437
7.nagyobb15zart	0,738	-1,969	10846,933	0,437	-1,166
8.nagyobb15nyitott	0,165	-0,428	7200	0,145	-0,377

Kiértékelés

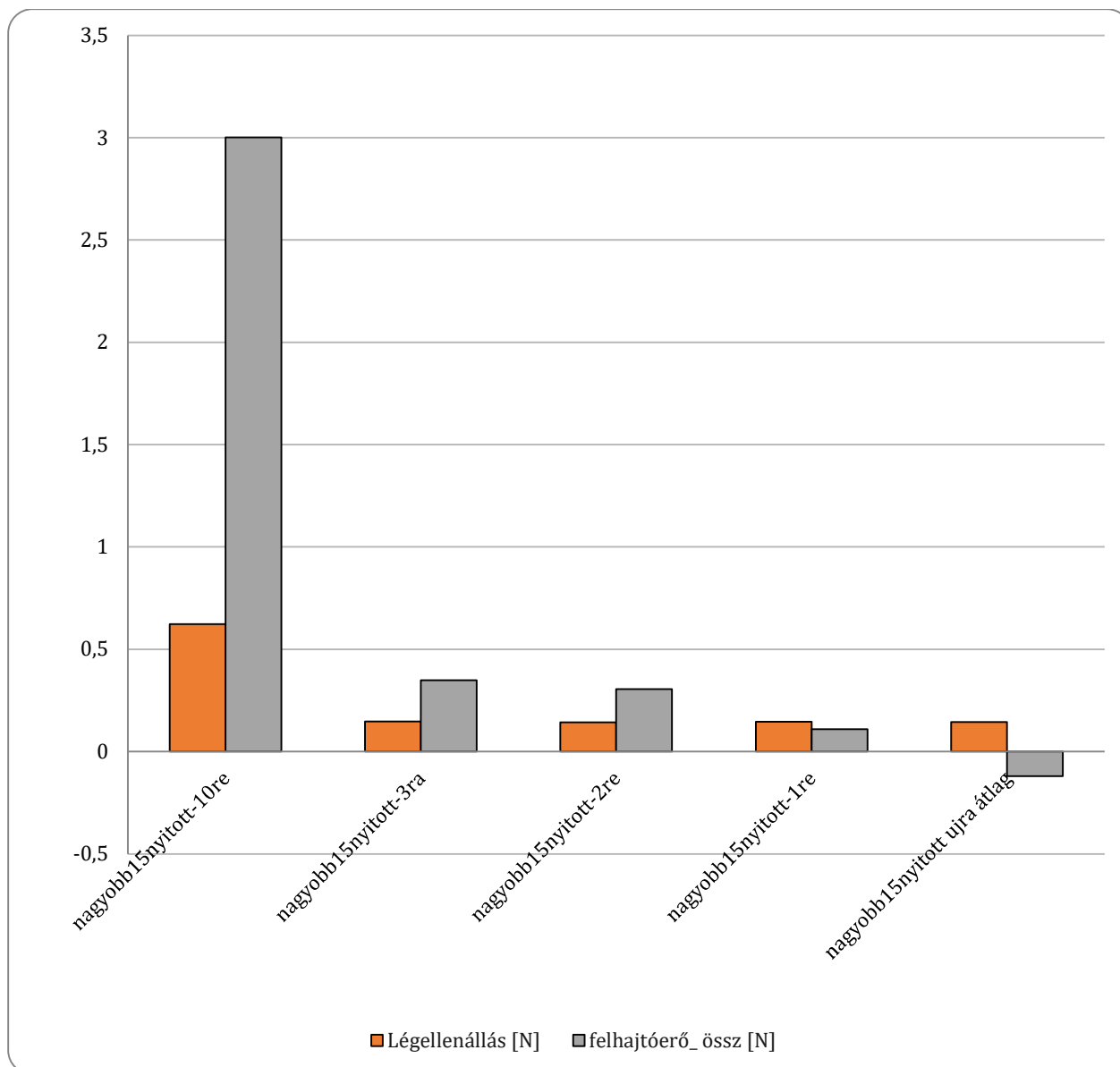


21. ábra: leszorítóerő/légellenállás arány

A leszorítóerő/légellenállás arány azt mutatja meg, hogy mennyi leszorítóerőért, vagyis nyereség ellenében mennyi légellenállást, vagyis veszteséget adnak az egyes szárnykonfigurációk. Amint sárgával kijelölve is láthatjuk, a „kisebb15zart” konfiguráció az ideális etéren. A látványosság kedvéért abszolút értékbe tettük az értékeket.

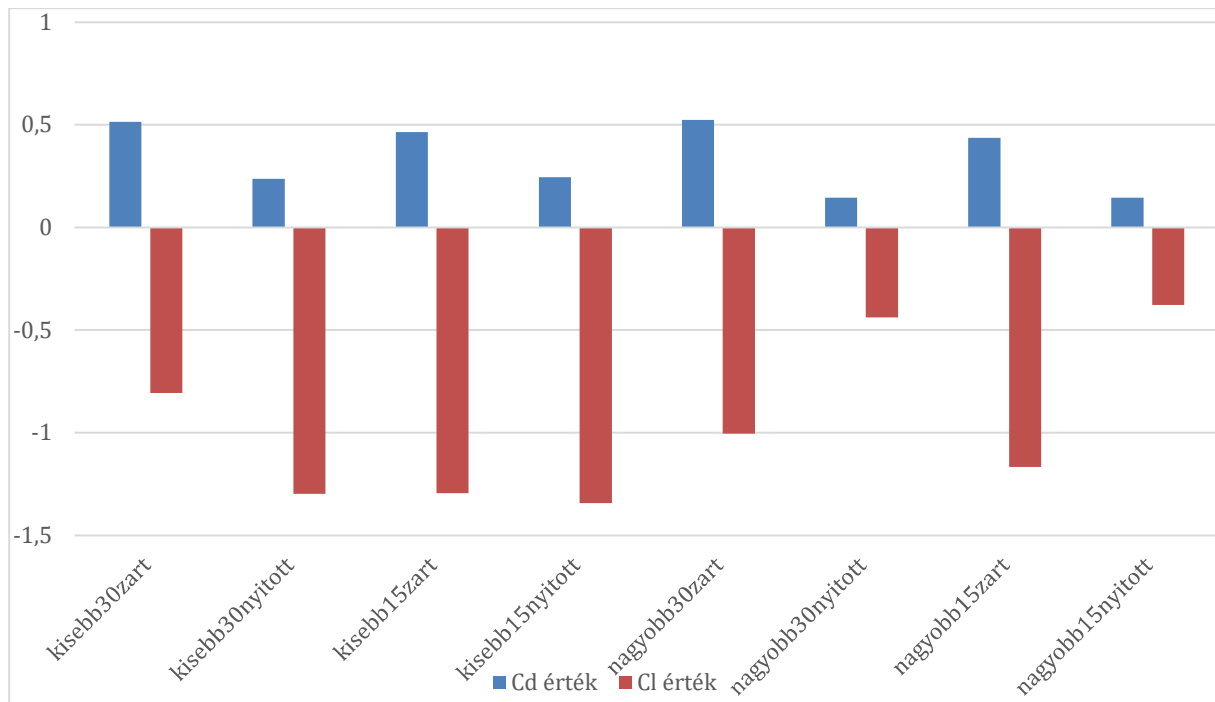
Számolás:

Leszorítóerő/légellenállás



22. ábra: ideális nyitási szög

Vettünk egy szárnykonfigurációt, ami ebben az esetben a „nagyobb15nyitott” volt és azzal különböző nyitott szárnyállásúnak számító dőlésszögeket állítottunk be. Ez volt -10° , -3° , -2° , -1° , és 0° . A 0° -ot háromszor is lemértük, ezért itt az átlagával számoltunk. Itt biztosan nem tudjuk megmondani, hogy ebből a szempontból melyik szárnykonfiguráció a legjobb, attól függ, hogy a pilóták éppen melyik pályán mérik össze tudásukat és versenyautójukat.



23. ábra: zárt és nyitott szárnykonfigurációk c_D c_L összehasonlítása

Összehasonlítottuk az összes mért szárnykonfigurációt c_D és c_L ellenálláserő-, és felhajtóerő-tényező szempontjából. Itt sem tudjuk biztosan megmondani, hogy ebből a szempontból melyik szárnykonfiguráció a legjobb, Attól függ, hogy a pilóták éppen melyik pályán mérik össze tudásukat és versenyautójukat.

Ábrajegyzék

1. ábra: A DRS nyitószervezete szerelés közben.	7
2. ábra: A DRS nyitószervezete zárt állapotban.....	8
3. ábra: A DRS nyitószervezete nyitott állapotban	8
4. ábra: A DRS nyitószervezet a valóságban	9
5. ábra: Kanyarban több tapadás van a külső kerekeken.....	12
6. ábra: A Zenvo csapatának a megoldása	12
7. ábra: A Zenvo TSR-S aktív hátsó szárnya működés közben a valóságban	13
8. ábra: A pont, látszik, a képen, hogy a DRS jelző 0-án van, innen indul az időzítő	14
9. ábra: B pont, ide néztük az idő végét, illetve a végsebességet is (9.ábra, 10.ábra).....	15
10. ábra: B pont, ide néztük az idő végét, illetve a végsebességet is (9.ábra, 10.ábra).....	15
11. ábra: A pont, látszik, a képen, hogy a DRS jelző 0-án van, innen indul az időzítő	16
12. ábra: B pont, ide néztük az idő végét, illetve a végsebességet is	16
13. ábra: A Budapesti Műszaki Egyetem áramlástani szakán a Kármán Tódor laboratórium.	19
14. ábra: A hővágó, amivel méretre vágtuk a szárnyprofilokat	20
15. ábra: A szárnyprofilok tervrajza.....	20
16. ábra: A „kisebb15zart” szárnykonfiguráció	21
17. ábra: A „kisebb30nyitott” szárnykonfiguráció.....	21
18. ábra: szélcsatorna beállítása közben (18. ábra, 19.ábra)	22
19. ábra: szélcsatorna beállítása közben (18. ábra, 19.ábra)	22
20. ábra: A „nagyobb30zart” szárnykonfiguráció.....	23
21. ábra: leszorítóerő/légellenállás arány	29
23. ábra: ideális nyitási szög	30
24. ábra: zárt és nyitott szárnykonfigurációk c_D c_L összehasonlítása.....	31

Irodalomjegyzék

1. DRS – Wikipédia <https://hu.wikipedia.org/wiki/DRS>
2. Deli Árpád: A versenyautók örök dilemmája (2019)
<https://www.autoszektor.hu/hu/content/versenyautok-orok-dilemmaja>
3. Drag reduction system- Wikipédia
https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_reduction_system
4. ER services: Drag Forces
https://www.researchgate.net/publication/283123078_Aerodynamic_Drag_Reduction_of_Emergency_Response_Vehicles
5. Légellenállás- Wikipedia
<https://hu.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9gellen%C3%A1ll%C3%A1s>
6. Totalcar - Magazin - Ellenségünk, a levegő (2013)
https://totalcar.hu/magazin/technika/2013/12/25/penztarcank_ellensege_a_levego/
7. Szajkó István- A légellenállási tényező mérése és számítása
http://www.pkiv.hu/Legellenallasi_tenyezo_szamitasa.pdf
8. Horner endorses Red Bull DRS weight theory - PlanetF1(2022)
<https://www.planetf1.com/news/christian-horner-red-bull-drs-weight/>
9. DRS: The Drag Reduction System explained - Racecar Engineering
<https://www.racecar-engineering.com/articles/f1/drs-the-drag-reduction-system/>
10. TopCars TV- Most Advanced Wings and Spoilers (2019)
<https://www.youtube.com/watch?v=iaD4Z2jnD0o>
11. What is DRS in F1, how does it work and is it automatic? - Autosport(2022) <https://www.autosport.com/f1/news/what-is-drs-f1-how-does-it-work/10307184/>
12. Munkahenger-Wikipédia <https://hu.wikipedia.org/wiki/Munkahenger>