

Aktív aerodinamikai rendszer fejlesztése verseny-motorkerékpárhoz

Development of an Active Aerodynamic System for a Racing Motorcycle

Kun Krisztián,¹ Sárkány Tamás²

Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék, Kecskemét, Magyarország

¹ kun.krisztian@gamf.uni-neumann.hu

² sarkany.tamas@gamf.uni-neumann.hu

Abstract

MotoStudent is an engineering and economic competition for students to build a motorcycle that will take part in a real race on the Motorland Aragon track in Spain. The Kenji Racing Team, a student team from John von Neumann University, has been participating in this competition since 2016. The design of the motorcycle must be accurately documented towards the competition organization, and economic and engineering tasks must be solved for the teams. In terms of engineering work, the development of innovation applied on the electric motorcycle is of paramount importance. Nowadays, one of the most popular development areas in motorsport is aerodynamics. Nevertheless, there are few studies about active aerodynamic systems. In our research we present the aerodynamics of motorcycles and the effect of passive and active wing systems on driving dynamics. With this knowledge, we detail the design steps of an active wing system.

Keywords: *active aerodynamic system, electric motorcycle, driving dynamics.*

Összefoglalás

A MotoStudent egy hallgatók számára indított mérnöki és gazdasági verseny, melynek keretein belül egy olyan motorkerékpárt megépíteni, amely a spanyolországi Motorland Aragon pályán, valós futamon vesz részt. Ezen a versenyen a Neumann János Egyetem hallgatói csapata, a Kenji Racing Team 2016 óta szerepel. A motorkerékpár tervezését a versenyszervezőség felé pontosan dokumentálni kell, emelet gazdasági és mérnöki feladatokat kell megoldani a csapatoknak. A mérnöki munkát tekintve kiemelt jelentőséggel bír az elektromos versenymotoron alkalmazott innovációs fejlesztés. Napjainkban, a motorsport egyik legnépszerűbb fejlesztési területe az aerodinamika. Mindazonáltal kevesen kísérleteznek aktív aerodinamikai szárnyrendszer alkalmazásával. Kutatásunkban bemutatjuk a motorkerékpárok aerodinamikáját a passzív, illetve aktív szárnyrendszerek hatását a menetdinamikára. Az ismeretek birtokában egy aktív szárnyrendszer tervezési lépéseit részletezzük.

Kulcsszavak: *aktív aerodinamikai rendszer, elektromos motorkerékpár, menetdinamika.*

1. Bevezetés

A MotoStudent egy hallgatók számára indított mérnöki és gazdasági verseny, melynek keretein belül megadott alkatrészek és az előteremtett erőforrások felhasználásával kell egy olyan motorkerékpárt megépíteni, amely a spanyolországi

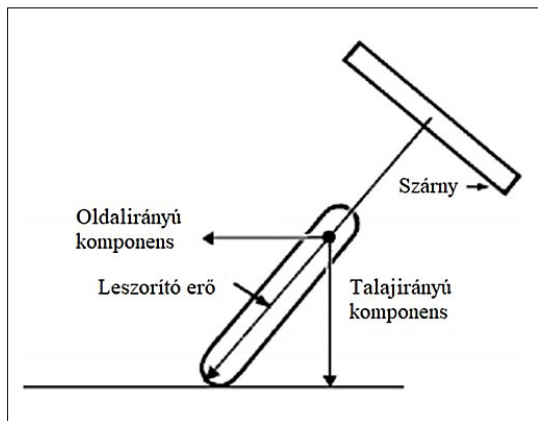
Motorland Aragon pályán méri össze erejét az indulókkal. A Neumann János Egyetem hallgatói csapata, a Kenji Racing Team 2016 óta vesz részt az eseményen. A 2021-es évben elektromos kategóriában méretteti meg magát a csapat. A motorkerékpár tervezését a versenyszervezőség felé

pontosan dokumentálni kell, amely dokumentációban kiemelt figyelmet és külön értékelést kap a motoron alkalmazott innovációs fejlesztés. Cél az innováció felhasználhatóságára irányuló motiváció növelése (formal aspect). A prototípus természetesen műszakilag is megvalósítható kell, hogy legyen. A Kenji Racing Team innovációs ötlete, a motorkerékpár orr-idomra egy aktív aerodinamikai csomag fejlesztése. A technika képes a versenypálya kanyarjainak megfelelően ideális leszorítóerőt képezni aktív mivoltának köszönhetően, ezzel pozitív hatást elérve a motorkerékpár menetdinamikájára.

2. A passzív szárnyrendszerek hatása a motorkerékpár menetdinamikájára

A motorkerékpár fejlesztések döntő többsége a MotoGP-ből indul. A Suzuki csapata volt az első, akik ún. szárnyakat motorkerékpáron. Az elgondolás az autósportból eredt, ahol a járműre szerelt aerodinamikai elemek segítségével leszorítóerőt generálnak, jelentősen növelve a tapadását. Segítségével a kanyarsebesség növelhető.

A motorkerékpároknál a leszorítóerő kérdése összetettebb, mint a versenyautóknál. Az utóbbinál alkalmazott aerodinamikai elemek a kanyarodás közben gyakorlatilag (ha a futómű összenyomódásából eredő enyhe megdőléstől eltekintünk) vízszintesen állnak, így a leszorítóerő-vektor végig a föld felé mutat. A motorkerékpárok kanyarodásánál jelentős mértékben kell számolnunk a jármű megdőléseivel, amely elérheti a pálya normalisához képest mért 60° -ot. Passzív rendszerek esetén a szárnyak együtt dőlnek a motorral, ami egyidejűleg a leszorítóerő-vektor irányának változását okozza (1. ábra).



1. ábra. Az erőviszonyok alakulása passzív szárnynyal kanyarodva [1]

3. A koncepcióterv a versenymotoron alkalmazható aktív szárnyak kialakításáról

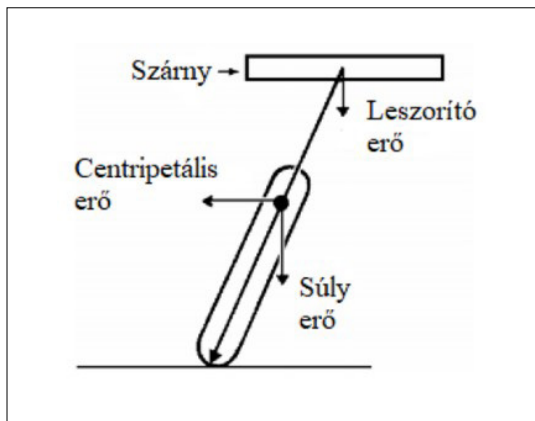
Az OptimumLap szoftver segítségével szimulációt készítettünk a motor viselkedéséről. A programba lehetőség nyílik az útvonal tervezésére, így az aragoni GP pálya bemodellezésével a versenyen lévő körülmények vizsgálatára nyílik lehetőség. A programnak meg kell adni a motorkerékpár paramétereit, többek között a motor tömegét, aerodinamikai tulajdonságait, akkumulátor típusát, motorteljesítményt, gumibroncs adatait és a sebességváltó áttételeit.

A nagyobb ívű kanyarokban a versenymotor akár 175km/h -ás sebességet elér. A szárnyak ettől a sebességtől kezdve tudnak hatékonyan leszorítóerőt képezni. A kanyarban a járműtest döntését követően viszont a szárnyak nem állnak vízszintesen a talajhoz képest, kedvezőtlen feltételeket teremtve. Így a szárnyak olyan káros hatásokat generálhatnak, amelyek megnehezítik a nagy sebességnél történő kanyarodást [2].

A folyamat megakadályozható, ha a szárnyak a motor dőlését kompenzálják és mindig vízszintesen állnak a talajhoz képest. Így a szárny által kifejtett leszorítóerő továbbra is a súlyerővel azonos irányba mutat (2. ábra).

3.1. Az elhelyezés kérdése

A rendszer elhelyezése a motoron hangsúlyos kérdés, mivel szárnyaknak a motor viselkedésére gyakorolt hatása nem csak magától a szárnyprofiltól függ, hanem az őt körülvevő idomtól és a kerék talpponttól mért távolságtól egyaránt. Az idomnak az áramló levegőt minél jobban a szárnyakra kell terelnie, így generálva nagyobb leszorítóerőt.



2. ábra. Az erőviszonyok alakulása aktív szárnynyal kanyarodva [1]

A rendszer minél előbbre helyezése előnyösebb, hiszen a kerékalpponttól mért távolság növelésével az erőkar is növekszik (3. ábra). Fontos szempont az elhelyezésnél, hogy a szabályzatban előírt 600 mm-es maximális idomszélesség teljesüljön.

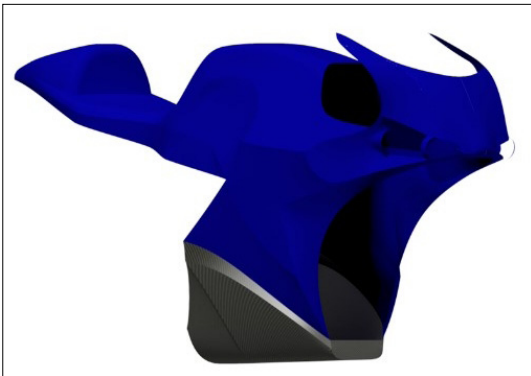
Az idom oldalát bemélyítve értük el a kívánt feszítávolságot. Az idom elejét ún. nyilazottra terveztük, a megfelelő légáramlás elérése érdekében.

3.2. A szárnyak mozgatása

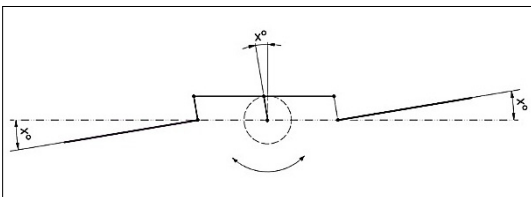
A motorkerékpár konstrukciós terve szerint mindkét irányba 50-50°-ot képes megdőlni, így a szárnyak szükséges dőlésszöge is ezen értékek szerint került meghatározásra.

A szárnyakat mozgató rudakat egy villanymotor hajtja meg egy csigahajtáson keresztül (4. ábra). A csigahajtás több okból szükséges. Az egyik ok a motor fordulatszámának csökkentése és a nyomaték fokozása, továbbá a csigahajtás alkalmazásának előnye az önzáró tulajdonsága. Hatására nem tudja a leszorítóerő által létrehozott nyomaték „visszatekerni” a motort, így a szárny mindig a kívánt pozícióban marad.

A szárnyak mozgására kis fordulatszám is elegendő. Méréseink szerint egy pilóta 40°-os döntést körülbelül 0,5 másodperc alatt képes dönteni. Ez azt jelenti, hogy a csigahajtóműnek 0,5 másodperc alatt 40°-ot kell elfordulnia. Így azt kapjuk,



3. ábra. A szárnyrendszerhez tervezett idom 3D modellje



4. ábra. A mozgató szerkezet sematikus ábrája

hogy 14 1/perc fordulat szükséges a mozgás lekövetésére. Mivel a hajtóművet katalógus alapján választottuk, a számolt értékhez legközelebbi, nagyobb értékűt alkalmaztuk. Így a 30 1/perc maximális fordulatszámú motort választottuk a mechanika működtetéséhez. [1, 3]

4. A szárnyrendszer konstrukciós terve és a rendszer hatásának vizsgálata a motorkerékpárra

Az előzetes számítások alapján a motorkerékpár 210 km/óra végsebességet ér el. Ezért a profilok kiválasztásánál ezzel az értékkel számoltunk.

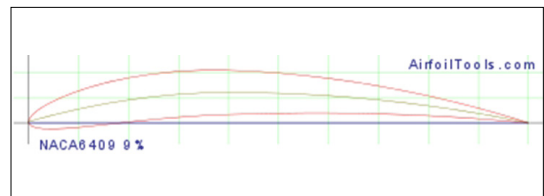
4.1. A szárnyprofil kiválasztása

Mivel a szárnyprofilok repülőgépekhez vannak tervezve, ezért a számításokat egy levegőben haladó repülőgépszárnyként végeztük, ami a dinamikus felhajtó erő miatt maradhat a levegőben. Egy motor esetében a gondolatmenet annyival változik, hogy leszorítóerőt akarunk generálni, amit úgy kaphatunk meg, hogy a szárnyprofil minden koordinátáját tükrözzük és billentjük meg az ideális α' szögbe. Az így kapott szárnyszelvényből kihúzott szárny által generált leszorítóerő, ellentétes irányú és azonos nagyságú felhajtóerővel.

Az (aero) dinamikus felhajtóerő (F_y), az áramló közegbe helyezett testre ható erőnek az a komponense, amely merőleges az áramlás irányára. Az áramlás irányával párhuzamos erőkomponenst közeg-ellenállásnak (F_x) nevezzük (5. ábra). A szárnyprofil a szárnyszelvény alakja. Szárnyszelvényt (sárgával jelölve) akkor kapunk, ha a szárnyat elmetesszük egy, a jármű és a levegő egymáshoz viszonyított sebességének síkjával (ideális esetben ezek egy síkban vannak), a szárnyat metsző párhuzamos síkkal. A szárnyprofiltól függ a felhajtó erő és az közegellenállás, az (1) és a (2) egyenletekben leírt módon. [3, 4, 5]

$$F_y = \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{C_y}{2} \quad (1)$$

$$F_x = \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{C_x}{2} \quad (2)$$



5. ábra. A kiválasztott profil szelvénye

ahol:

- v a közeg és a gép egymáshoz viszonyított sebessége
- A a szárny felület
- ρ a levegő sűrűsége (természeti állandó)
- C_y felhajtóerő tényező
- C_x közegellenállási tényező

A megvizsgált szárnyprofilok közül az **5. ábrán** látható „NACA6409 9%” a legmegfelelőbb az előzetes kritériumok alapján.

A vizsgált erők nagyságát, úgy tudjuk a közeg és a gép egymáshoz viszonyított sebességének függvényében legegyszerűbben meghatározni, hogy azt bizonyos $Re^{(2)}$ esetekben vizsgáljuk. A többi értéket, e pontok alapján közelítjük (**1. táblázat**, **6. ábra**).

4.2. CFD szimulációk a szárnyprofilon

Az NACA profil letöltött körvonalainak felhasználásával 2D szimulációs vizsgálatot végeztünk, amelyek eredményét a **7. és 8. ábra** szemlélteti. A vizsgálathoz az Ansys 17® szoftvert használtuk [**6, 7, 8**]

4.3. A szárny kialakítása

A szárny kialakítása enyhén előre nyilazott, a váz közelében (szárny egyharmada) egy terelőlappal, a szélén 30 fokban lehajló szárnyvégekkel.

Esetünkben a szárnyak előre nyilazottsága minimális, ezért szinte egyenes szárnyakról beszélhetünk (az enyhe erőre nyilazottság csak a felület növelése szempontjából előnyös). Az egyenes szárnyak a legelőnyösebbek kis repülési sebesség esetén.

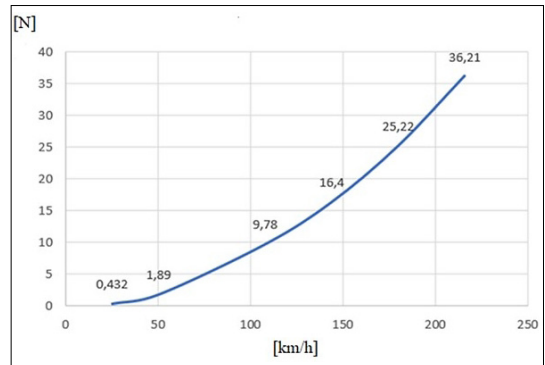
Továbbá légáramlatok nem sodródnak (csökkentve a felhajtóerőt) szárnyvégek felé, így nem alakul ki örvénylő áramlás. [**9**]

A fent említett gondolatment ellenére a szárny egyharmadához mégis kerül egy terelőlap, mivel, estünkben a szárny dőlésszöge változtatható a sebességgel merőlegesen. A dőlésszög változása miatt az egyenes szárnyprofil ellenére, a nagyobb dőlésszögek esetén elkerülhetetlen a légáramlatok kisodródása, így a motor vázához közeli, lehető legnagyobb felület, a kanyarodás közben is képes lesz effektív leszorítóerőt teremteni.

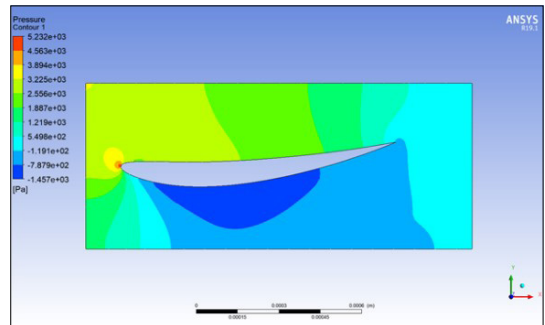
A 30 fokban lehajló szárnyvégeknek (**9. ábra**) köszönhetően tudjuk kihasználni, az ún. örvényemelés jelenségét. Ez azt jelenti, hogy a 30 fokban lehajló szárnyvégek egy valós örvényt (a gyorsan forgó levegő valódi tömege jelen van az örvényben) hoznak létre a szárny alatt, amely hatására a levegő sebessége megnő, így a nyomá-

1. táblázat. A számolt sebességértékekhez számolt leszorítóerő és légellenállás

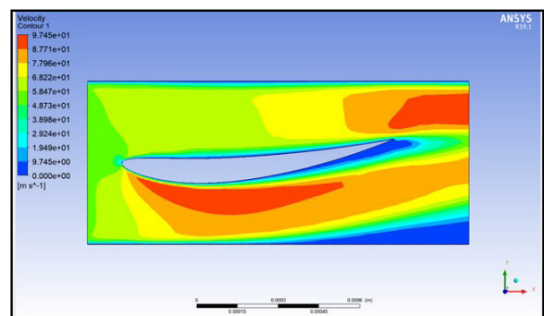
Re ()	v (m/s)	C_x és C_y	F_y (N)	F_x (N)
50.000	7	1,05 és 0,03	0,432	$1,24 \cdot 10^{-2}$
100.000	14	1,15 és 0,02	1,89	$3,29 \cdot 10^{-2}$
200.000	30	1,2 és 0,015	9,78	0,113
500.000	60	1,2 és 0,01	36,31	0,303



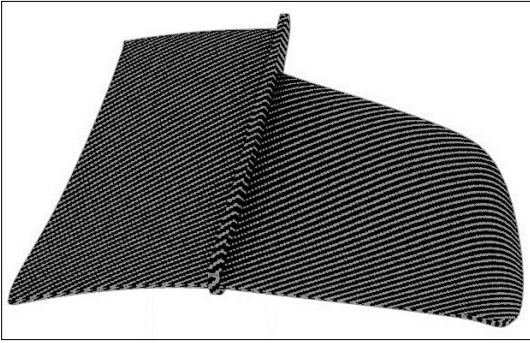
6. ábra. Szárnyanként fellépő leszorítóerő nagysága (N) a sebesség (km/h) függvényében



7. ábra. A profil körüli nyomás a motor által elérhető maximális sebességnél



8. ábra. A profil körüli áramlási sebesség a motor által elérhető maximális sebességnél



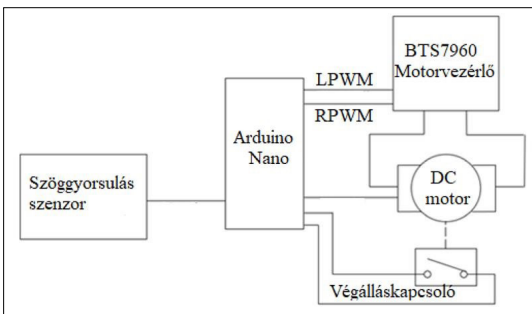
9. ábra. A szárny 3D modellje



10. ábra. A megtervezett szárnyrendszer 3D modellje



11. ábra. A komplett versenymotor CAD összeállítása, elején az aktív aerodinamikai csomaggal



12. ábra. A rendszerterv sematikus ábrázolása

sa lecsökken. A szárny alatti alacsony nyomás a leszorítóerő növekedését eredményezi.

A 10. ábra a megtervezett szárnyrendszer 3D modelljét szemlélteti. Továbbá a 11. ábrán látszik, hogy a tervezett aktív aerodinamikai csomag hogyan illeszkedik az idomhoz.

5. Az aktív szárnyrendszer szárnyak vezérlése

A szárnyak mozgatásához egy programozható vezérlő elektronikát terveztünk. Diszkrét alkatrészek helyett egyben megvásárolható paneleket használtunk. Az 12. ábrán a rendszer sematikus ábrája látható.

A rendszer alapja egy Arduino Nano programozható mikrovezérlő. Segítségével a szárnyak a motorkerékpár dőlésétől függően vezérelhetők. A motorkerékpár dőlését egy MPU6050-M gyorsulás és szögsebesség szenzor méri. A szárnyak mozgatását egy csigahajtóműves DC motor végzi, amely meghajtását BTS7960 típusú H-hidas motorvezérlővel valósítottuk meg. A szárnyak pozíciója a DC motor tengelyén található pozíció szenzor és a szárnymozgató mechanizmusra szerelt végállás kapcsolók segítségével mérhető. Az eszköz bekapcsolását követően referencia felvétellel kezd a rendszer annak érdekében, hogy a szárny megtalálja a tényleges szögállását. Továbbá a szerkezet károsodásának elkerülése érdekében (melyet a szárny túlzott megdőléséből adandóan, szenvedhet) végálláskapcsolókat szereltünk a két végpozícióba. [10, 11]

6. Összegzés

Nagy sebességnél a motorkerékpárra ható aerodinamikai felhajtóerő hatására az első keréken lévő súlyerő jelentősen csökkenhet, ami a kerék elemelkedését eredményezi a talajtól. Ez a hatás jelentősen rontja a kezelhetőséget. [12] A megtervezett rendszer a motor stabilitását szolgálja. A szárnyakkal létrehozott leszorítóerővel a stabilitás növelhető a gyors pályaszakaszokon. Az általunk fejlesztett aktív aerodinamikai rendszer a passzív szárnyak hátrányos hatását is kiküszöböli, ami a kanyarodást nehezíti meg. Az aktív rendszer a motor dőlését kompenzálva vízszintesen tartja a szárnyakat a talajhoz képest, így leszorítóerő továbbra is a súlyerővel azonos irányba mutat. A kutatásban a szimulációs eredmények birtokában létrejött egy ideális design, valamint a kompenzáló vezérlő rendszer.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely az EFOP-3.6.1-16-2016-00006 „A kutatási potenciál fejlesztése és bővítése a Neumann János Egyetemen” pályázat keretében valósult meg. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a Széchenyi 2020 program keretében valósul meg.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Foale T.: *Motorcycle handling and chassis design. Art and design.* 2006. 4–6.
- [2] Veneri M., Massaro M.: *A free-trajectory quasi-steady-state optimal-control method for minimum lap-time of race vehicles.* *Vehicle System Dynamics*, 58/6. (2020) 933–954.
<https://doi.org/10.1080/00423114.2019.1608364>
- [3] Portaluri G., Tamburello M., Giordano S.: *A novel IoT-based architecture for self-adaptive aerodynamic flow control system for motorcycle.* In 2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) 1–6.
<https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2018.8648012>
- [4] Van Dijck T.: (2015). *Computational evaluation of aerodynamic forces on a racing motorcycle during high speed cornering.* SAE International Technical Paper, No. 2015-01-0097.
<https://doi.org/10.4271/2015-01-0097>
- [5] Sharp R. S., Evangelou S., Limebeer D. J. N.: *Advances in the Modelling of Motorcycle Dynamics.* *Multibody System Dynamics*, 12/3. (2004) 251–283.
<https://doi.org/10.1023/B:MUBO.0000049195.60868.a2>
- [6] Sharp R. S.: *The lateral dynamics of motorcycles and bicycles.* *Vehicle System Dynamics*, 14/4–6. (1985) 265–283.
<https://doi.org/10.1080/00423118508968834>
- [7] Sharp R. S., Limebeer D. J. N.: *A motorcycle model for stability and control analysis.* *Multibody system dynamics*, 6/2. (2001) 123–142.
<https://doi.org/10.1023/A:1017508214101>
- [8] Desai S., Lylek E., Lo C. M. B., Doddegowda P., Bychkovsky A., George A. R.: *Experimental and CFD comparative case studies of aerodynamics of race car wings, underbodies with wheels, and motorcycle flows.* SAE Technical Paper, No. 2008-01-2997.
<https://doi.org/10.4271/2008-01-2997>
- [9] Cocco G.: *Motorcycle design and technology: how and why.* Giorgio Nada Editore, 1999.
- [10] Badamasi Y. A.: *The working principle of an Arduino.* In: 2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO), IEEE, 1–4.
<https://doi.org/10.1109/ICECCO.2014.6997578>
- [11] Raymer D.: *Aircraft design: a conceptual approach.* American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., 2012.
<https://doi.org/10.2514/4.869112>
- [12] Sharp, R. S.: *The stability and control of motorcycles.* *Journal of mechanical engineering science*, 13/5. (1971) 316–329.