

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh systému DRS pro závodní vůz kategorie Formula Student

Autor: **Jan MĚSTKA**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Martin HYNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2016/2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Městka	Jméno Jan	
STUDIJNÍ OBOR	Dopravní a manipulační technika		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hynek, Ph.D..	Jméno Martin	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh systému DRS pro závodní vůz kategorie Formula Student		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	118	TEXTOVÁ ČÁST	100	GRAFICKÁ ČÁST	18
---------------	-----	---------------------	-----	--------------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje konstrukční návrh systému snížení odporu vozidla formulového typu, splňující všechna pravidla soutěže Formula Student. Návrh čtyř variant řešení a výběr nejvhodnější, pomocí rozhodovací analýzy. Pro vybranou variantu byl vypracován CAD model se začleněním do sestavy a vypracována základní dokumentace. Byly spočteny přínosy systému DRS pro jednotlivé disciplíny závodu Formula student. Návrh ovládání systému DRS.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Formula Student, DRS, odpor vzduchu, CAD, aerodynamika, snížení odporu, návrh

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Městka	Name Jan
FIELD OF STUDY	Transport and handling machinery	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hynek, Ph.D..	Name Martin
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of DRS system for a Formula Student racing car	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	118	TEXT PART	100	GRAPHICAL PART	18
----------------	-----	------------------	-----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor's thesis contains a structural design of the drag reduction system for the formula vehicle type, which meets all the rules of the Formula Student competition. Design of four variants of the solution and choice of the most suitable, using decision analysis. For the selected variant, the CAD model was developed with the inclusion in the kit and basic documentation was developed. The benefits of the DRS system for each discipline of the Formula student race were calculated. DRS system design actuation.
KEY WORDS	Formula Student, DRS, drag, CAD, aerodynamics, drag reduction, design

Obsah

1	Historie Formula Student.....	8
2	Aerodynamika.....	8
2.1	Aerodynamika vozu.....	8
2.2	Aerodynamický odpor	9
2.3	Přítlak.....	10
2.3.1	Bernoulliho rovnice	10
2.3.2	Aerodynamické prvky pro zvýšení přítlaku vozidla	11
2.4	DRS používané u vozů Formula Student.....	12
3	Specifikace požadavků	13
3.1	Obecně kladené požadavky.....	13
3.2	Pravidla Formula Student	13
4	Konstrukční provedení DRS u vozů Formula Student	14
4.1	Pohon DRS.....	14
4.1.1	Pneumatický pohon	14
4.1.2	Elektronický pohon	14
4.2	Způsoby ovládání elektronicky poháněného DRS	15
4.2.1	Přímé elektronické ovládání	15
4.2.2	Elektro-mechanické ovládání.....	16
4.3	Oblasti použití DRS.....	17
5	Přínos DRS	18
5.1	Experimentální Testování vozu UWB03	18
5.2	Dojezdová zkouška.....	18
5.2.1	Naměřené hodnoty	18
5.2.2	Vyhodnocení naměřených dat.....	19
5.3	Přínos DRS v závodě „Akcelerační“	26
5.4	Závod typu endurance Hungary 2016	28
5.4.1	Použití DRS	28
5.4.2	Vyhodnocení dat	29
6	Konstrukční návrh řešení.....	32
6.1	Požadavky	32
6.2	Varianty provedení	33
6.2.1	Přímé elektronické ovládání	33
6.2.2	Elektro-mechanické ovládání jedním servomotorem	34
6.2.3	Elektro-mechanické ovládání dvěma servomotory	35
6.2.4	Pneumatické ovládání.....	36
7	Výběr nejvhodnější varianty	36

7.1	Používaná řešení týmy FSAE	37
7.2	Rozhodovací analýza	37
7.2.1	Párové srovnávání	37
7.2.2	Morfologická analýza	38
7.3	Vybraná varianta	38
8	Vlastní návrh DRS	38
8.1	Výpočet polohy osy rotace.....	39
8.2	Volba servomotoru	41
8.2.1	Výběr nejvhodnějšího servomotoru	42
8.3	Návrh kloubového mechanismu.....	43
8.4	Volba ložiska.....	44
9	Vypracování CAD modelu a základní dokumentace DRS.....	45
9.1	Detail konstrukčních uzlů	46
10	Ovládání DRS	48
10.1	Schéma ovládání	48
10.1.1	Režim Vypnuto	48
10.1.2	Režim Zapnuto	48
10.1.3	Režim Manuál	48
10.1.4	Režim Automatická podmínka.....	48
10.1.5	Režim Automatická GPS	49
11	Cost report zadního křídla	50
12	Závěr.....	51
13	Zdroje	52
14	Seznam příloh	53

Úvod

Formula Student je mezinárodní soutěž, zaměřená pouze na studenty technických oborů. Dává studentům možnost podílet se na stavbě vozidla formulového typu. Poskytuje možnost vyzkoušet si práci na velkém projektu, kde je za potřebí především týmová práce. Umožňuje studentům projít si celým výrobním procesem, od návrhů až po výrobu prototypu. Součástí tohoto projektu je také prezentace a možnost účastnit se mezinárodních závodů Formula Student, kde kromě závodů je také možnost porovnávání zkušeností s ostatními týmy z celého světa.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout systém DRS (Drag reduction system) ovládající naklápění klapky zadního křídla, s ohledem na navazující komponenty vozu Formula Student a následnou implementací do celkové sestavy vozu UWB04. Navržená konstrukce musí být zcela v souladu s pravidly soutěže Formula Student pro rok 2017. Návrh musí být proveden s ohledem na funkčnost a celkovou hmotnost systému.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část je zaměřena na přiblížení soutěže Formula Student, rešerše v oblasti systému DRS používaného u vozů Formula Student a stanovení přínosu DRS u jednotlivých disciplín. V praktické části se práce zabývá návrhem možné varianty řešení ovládacího systému DRS pro vůz UWB04 a detailním rozpracováním nevhodnější varianty až po výrobní dokumentaci. Dále také obsahuje návrh řízení systému DRS.

1 Historie Formula Student

Již na konci sedmdesátých let minulého století vznikla myšlenka uspořádat konstrukční soutěž pro studenty zaměřenou na vozidla formulového typu. V roce 1980 Society of Automotive Engineers (dnes SAE International) položilo základy nové meziuniverzitní soutěži, která studentům technických oborů umožnila aplikovat své technické znalosti na komplexní problém v reálném světě. Již od začátku soutěž Formula SAE byla zaměřena spíše na technologickou stránku soutěže, než na výběr řidiče. I proto byla snaha neomezovat příliš studenty pravidly a ponechat více prostoru pro kreativní nápady. Omezení proto bylo především z důvodu bezpečnosti. Bylo požadováno použití čtyřdobého spalovacího motoru, jehož výkon bude omezován restriktorem. [15]

Na konci devadesátých let vznikla evropská verze americké soutěže Formula SAE s názvem Formula Student. Za pořádání této soutěže v Evropě se zaručil Institute of Mechanical Engineers (IMEchE) a to v souladu se soutěží Formula SAE. Pravidla se liší jen málo a to tak, aby nebyl žádný tým z žádného kontinentu v nevýhodě oproti konkurenci. [15]

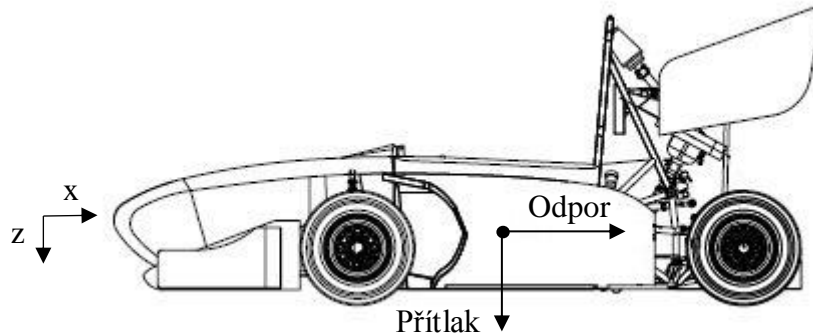
Systém aktivní aerodynamiky jako první v soutěži Formula SAE použil v roce 2011 tým Sooner Racing. Představil vůz, který měl dynamicky ovládané klapky na předním i zadním křídle. K naklápění klapky byla použita mikroserva po stranách klapky, které přímo natáčely klapky.

2 Aerodynamika

Aerodynamika je vědní obor zabývající se působením sil na těleso obtékané kapalinou (plynem) a prouděním kolem tohoto tělesa. V praxi využívané například v letectví a automobilismu k dosažení co nejlepšího obtékání těles vzduchem. Při navrhování vozu formulového typu mají aerodynamické prvky zásadní vliv. Především snižují aerodynamický odpor, který narůstá s rychlostí a velikostí čelní plochy. Platí, že čím nižší aerodynamický odpor musí být vozidlem překonán, tím hospodárněji jede. Aby bylo možné zahrnout vliv tvaru a charakter obtékané plochy, byl zaveden tzv. součinitel aerodynamického odporu C_x , který vyjadřuje kvalitu obtékání kolem tělesa.

2.1 Aerodynamika vozu

Při návrhu aerodynamiky vozu je kladen důraz především na dvě složky síly působící na karoserii vozidla vlivem obtékání kapalinou, přítlak (lift) a odpor (drag). Tyto síly i souřadnicový systém, používaný pro vozidla, jsou znázorněny na Obr.1. Aerodynamické síly vznikají za pohybu vozidla. Vlivem obtékání kapaliny se mění tlaky působící na vnější plochy vozu úměrně kvadrátu rychlosti. Tyto změny tlaku vytvářejí aerodynamické síly působící kolmo na povrch vozidla. Obecně je cílem minimalizovat odporové síly bránící v pohybu a využít co největší přítlačné síly, přítlačující vozidlo na vozovku. Vhodným poměrem těchto sil lze dosáhnout zlepšení výkonu a bezpečnosti vozidla. [5] Umožňuje tak vozům projíždět zatáčky v mnohem vyšších rychlostech.



Obr. 1 Odporová a přítlačná síla

Aerodynamika je úzce spjata s designem, protože všechny aerodynamické prvky utváří estetický dojem vozu. Další důležitou funkcí aerodynamických prvků je nasměrovat proud obtékajícího vzduchu tak, aby byl zajištěn odvod tepla z brzd a motoru.

Aerodynamiku vozu je nutno brát jako záležitost celého vozidla, jelikož jednotlivé části se navzájem ovlivňují.

2.2 Aerodynamický odpor

Odpor vzduchu přímo ovlivňuje dosažitelnou maximální rychlost i spotřebu paliva. [6] Jedoucí vůz musí překonávat odpor vznikající rozrážením vzduchu, který vozidlo brzdí. Vůz je schopen zrychlovat, dokud se hnací síla motoru nerovná odporové síle vzduchu. Při vyrovnání těchto sil vůz dosáhl své maximální rychlosti. Hnací sílu motoru lze vyjádřit jako podíl výkonu motoru P a rychlosti v .

$$\frac{P}{v} = F_D \quad 2.2.1$$

Aerodynamický odpor F_D je přímo úměrný druhé mocnině rychlosti v , z čehož vyplývá, že se zvyšující se rychlostí prudce stoupá. Závisí také na velikosti čelní plochy S_x , součiniteli odporu C_x a hustotě proudící kapaliny ρ .

$$F_D = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot S_x \cdot C_x \quad 2.2.2$$

Snížení odporu vzduchu na vozidlo lze dosáhnout: [6]

- Snížením součinitele odporu vzduchu C_x
- Zmenšením čelní (projekční) plochy vozidla

Změny hodnoty C_x lze dosáhnout úpravou tvaru karoserie, přidáním aerodynamických krytů (např.: kryty kol, umožňují-li to předpisy) či přidáním, nebo úpravou přítlačných křidel. Zmenšení čelní plochy vozidla je možno provést již při samotném návrhu designu a to minimalizací rozměrů. Další možností je použití tzv. aktivní aerodynamiky. Jedná se o pohyblivé aerodynamické prvky, ovládané řidičem vozu, které se během jízdy přesunou

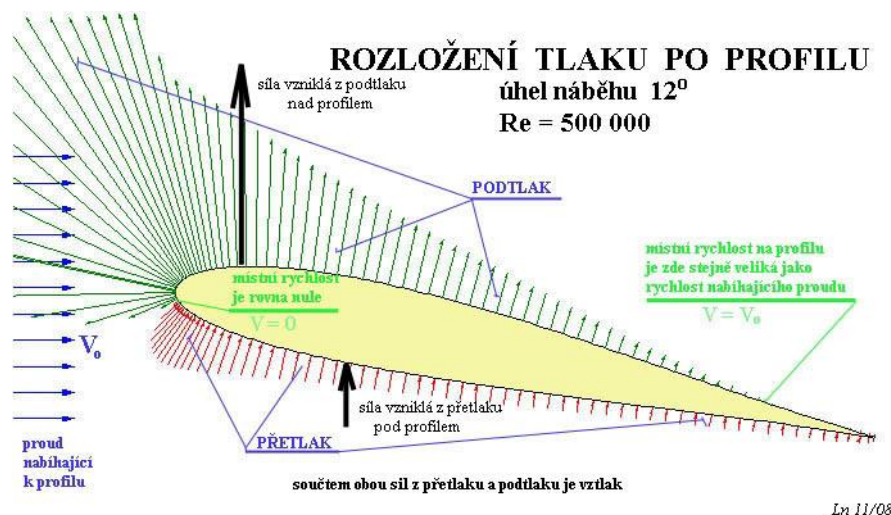
(nejčastěji pootočí) a tím sníží čelní plochu. Tohoto efektu je využíváno například u vozů Formule 1. Tato problematika je dále popsána v kapitole 2.4.

2.3 Příklad

Využití přitlačné síly je ideální pro zvýšení obvodové a boční síly působící na kola, bez současného navýšení hmotnosti vozu. [6] Nevýhodou však je, že velikost přitlačné síly je (stejně jako aerodynamický odpor) závislá na rychlosti. Z toho vyplývá, že při nízkých rychlostech, například při rozjezdu, je účinek přitlačné síly minimální. Jelikož je přitlačná síla F_L přímo úměrná druhé mocnině rychlosti v , její význam a přínos roste se zvyšující se rychlostí. Dále závisí také na velikosti čelní plochy S_x , součiniteli přitlaku C_L a hustotě proudící kapaliny ρ .

$$F_L = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot S_x \cdot C_L \quad 2.2.3$$

Přitlačná síla je vyvozena rozdílem tlaků nad a pod obtékaným tělesem (vozidlem). Čím větší je účinná plocha a čím větší je rozdíl tlaků, tím větší je působící přitlačná síla na těleso. [6]



Obr. 2 Rozložení tlaku na leteckém profilu [9]

Proud vzduchu se na náběžné hraně křídla (rychlost je zde rovna nule) rozděluje, část proudí nad profilem a část pod profilem. U křidel letadla (obr. 2), vzduch proudící nad profilem musí urazit delší dráhu za stejný čas jako vzduch proudící pod profilem. Musí mít tedy větší rychlost. Podle Bernoulliho rovnice (2.3.1.1) tak nad křídlem vzniká podtlak. Pod profilem naopak vzduch proudí pomaleji, což má za následek vznik přetlaku, oproti atmosférickému tlaku. Jak je vidět na obr. 2, tak velikost podtlaku je větší než velikost přetlaku. Rozdíl těchto tlaků způsobuje vztlak. V případě otočení profilu (nad profilem přetlak, pod profilem podtlak), jak je tohoto jevu využíváno v automobilismu vzniká přitlak.

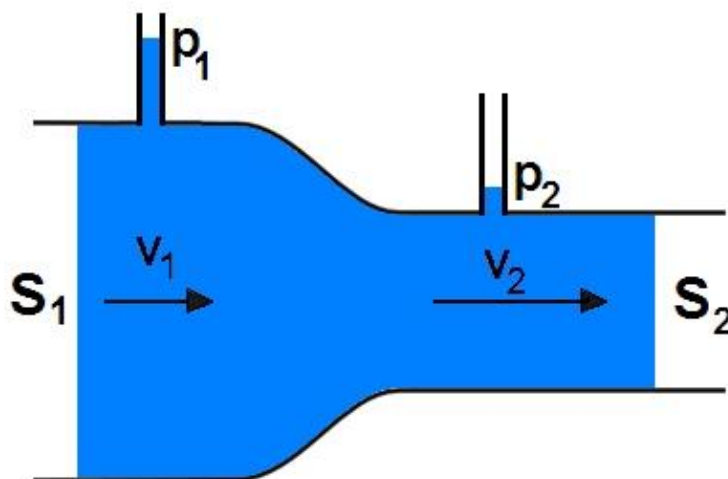
2.3.1 Bernoulliho rovnice

Je to základní rovnice mechaniky tekutin, která vychází ze zákona zachování energie v proudící kapalině. Platí pro ideální kapalinu bez vnitřního tření. Celková mechanická energie proudící kapaliny ve vodorovném potrubí s dvěma nesterjními průřezy se skládá z kinetické

energie (pohybové) a z potenciální tlakové energie. Součet těchto energií musí být stejný pro oba průřezy, jak vyplývá ze zákona zachování energie. Z toho vyplývá, že při zvýšení rychlosti se kinetická energie zvětšuje a potenciální tlaková energie se tedy musí snižovat. Důsledkem toho je, že v oblasti s vyšší rychlostí proudění kapaliny, se tlak snižuje

$$\frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2 + p_2 \quad 2.3.1.1$$

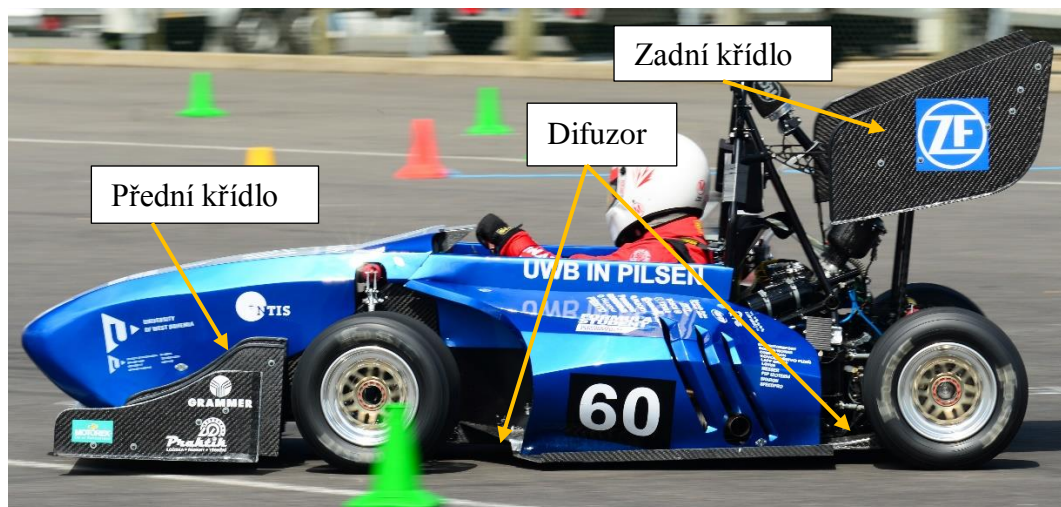
Bernoulliho rovnice



$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p = \text{konst.}$$

Obr. 3 Vodorovná trubice nekonstantního průřezu [10]

2.3.2 Aerodynamické prvky pro zvýšení přitlaku vozidla



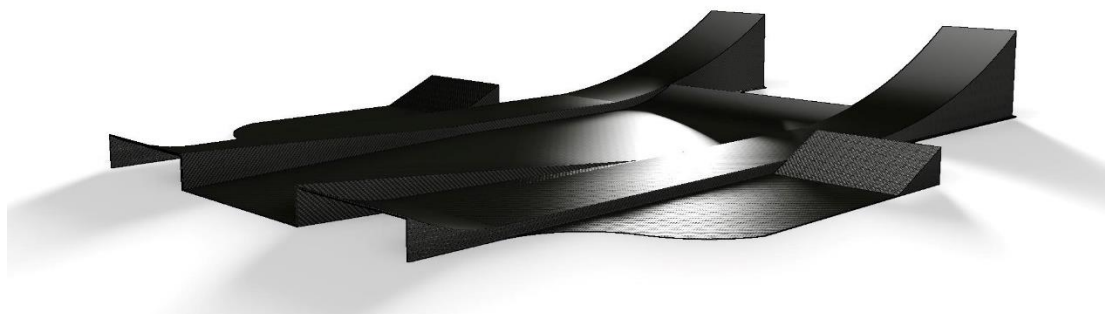
Obr. 4 Vůz UWB_03 Formula Student a použité aerodynamické prvky

Pro zvýšení přítlaku je často využíváno křidel (spoilerů), která fungují na stejném principu jako křídla letadel. Jen profily křidel jsou umístěny obráceně, tak že podtlak vzniká na spodní straně profilu a tím přisává vůz k zemi. U vozů formulového typu se užívají víceprvková křídla, skládající se z několika profilů. Použití křidel sebou však nese zvýšení aerodynamického odporu, vlivem zvětšení čelní plochy vozu. To má za následek nutnost použití větších výkonů motoru pro překonání většího odporu při vysokých rychlostech.



Obr. 5 Víceprvkové křídlo vozu UWB03

S geniálním řešením, jak zvýšit přítlak bez navýšení aerodynamického odporu, přišel konstruktér Colin Chapman. Pomocí difuzoru je využíván tok vzduchu pod vozidlem, který je kanály urychlován. Rychle proudící vzduch pod vozidlem vytváří podtlak a tím zvyšuje rozdíl tlaků nad a pod vozidlem, čímž se zvyšuje přítlačná síla. Nevýhodou však je prudké snížení přítlačné síly při změně toku proudu vzduchu pod vozem, například při změně světlé výšky (vzdálenost podlahy vozu od vozovky). [7]



Obr. 6 Podlaha vozu s difuzory [8]

2.4 DRS používané u vozů Formula Student

Jedná se o systém umožňující otevírání klapky aero paketu (křídla). Při aktivaci DRS se klapky natočí na takový úhel náběhu, při kterém mají minimální součinitel aerodynamického odporu C_x . Tím se zmenší i čelní plocha křídla a sníží se tak odpor vzduchu působící na vůz. Je potřeba tedy méně hnací síly motoru k překonání aerodynamického odporu, což umožňuje dosažení vyšší maximální rychlosti, viz rovnice 2.2.1 a 2.2.2. Otevřením klapky se však také výrazně sníží přítlak produkovaný křídlem (v zavřeném stavu). Nesníží se tím jen přítlak produkovaný otevřeným křídlem, ale přítlak produkovaný všemi aerodynamickými prvky vozu. Proto se DRS aktivuje převážně na rovných úsecích trati, kde snížení přítlaku nemá tak výrazné negativní účinky na řízení vozu, protože není potřeba přenášet velká boční přetížení.

3 Specifikace požadavků

Navržená konstrukce musí splňovat základní obecné požadavky kladené na konstrukci závodních vozů. Dále je návrh omezen pravidly Formula Student, která se každý rok upravují.

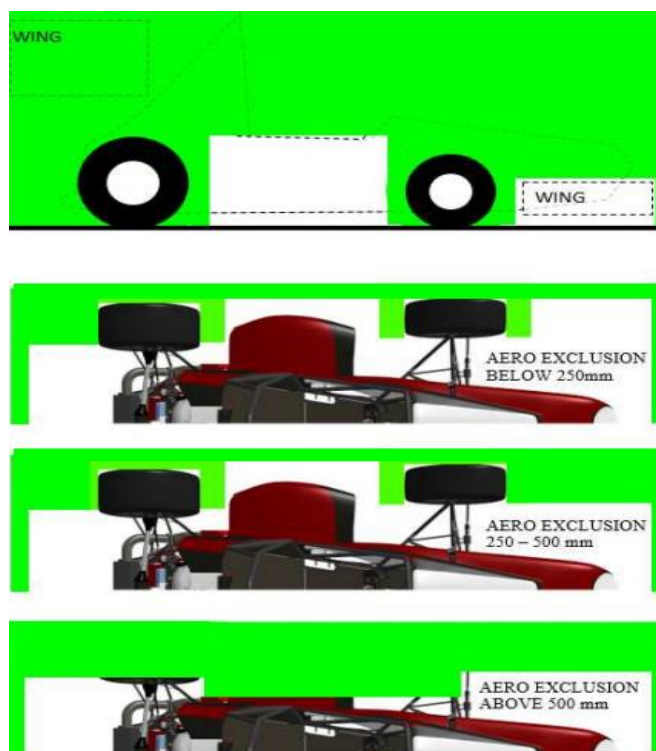
3.1 Obecně kladené požadavky

Jedním z nejdůležitějších požadavků je co nejnižší hmotnost a také funkčnost navrhovaného systému. Obecně platí, že čím jednodušší konstrukce, tím menší pravděpodobnost poruchy. S tím souvisí i co nejjednodušší výroba, protože komponenty jsou vyráběny studenty. Je také důležité dbát na rozmístění hmoty, aby těžiště vozu bylo co možná nejnižší. Je požadováno, aby aerodynamické síly působící na klapky vytvářely moment, který klapky uzavírá. Tím se eliminuje riziko samovolného otevření klapek při poruše systému.

3.2 Pravidla Formula Student

V půdorysném pohledu jakákoliv část aerodynamického zařízení na zadní části vozu (zadní křídlo ...) nesmí být širší než rozměr mezi vnitřními stranami zadních pneumatik měřených ve výšce osy náboje. V bočním pohledu žádná část zadního křídla nebo aerodynamického zařízení (včetně koncových desek) musí být vyšší než 1,2 m nad zemí, měřeno bez řidiče ve vozidle. [4]

Všechna aerodynamická zařízení musí být navržena tak, že systém podpěr má dostatečnou tuhost při statickém zatížení a také, že aerodynamické zařízení nebude kmitat nebo se nadměrně pohybovat, když je vozidlo v pohybu. V technické inspekci bude provedena kontrola zatlačením na aerodynamické zařízení ve všech směrech a na každém místě (záměrem je aby se neodpojilo křídlo od auta). [4]



Obr. 7 Grafická vizualizace zakázaných oblastí [4]

4 Konstrukční provedení DRS u vozů Formula Student

Použití aktivních aerodynamických prvků na principu DRS je v soutěži Formula Student nový, rozvíjející se trend. Existuje celá řada metod ovládní víceprvkového křídla. Mají odlišné výhody a uplatnění. Nejčastěji používané řešení ovládní DRS u vozů Formula Student je pneumatické, přímé elektronické a elektromechanické řízení naklápění klapky víceprvkového křídla.

4.1 Pohon DRS

Hnací člen DRS má za úkol vyvodit sílu (moment) potřebnou, pro natočení klapky. Mezi nejčastěji používané typy pohonu patří pneumatický a elektronický.

4.1.1 Pneumatický pohon

Pneumatický pohon je jednoduchý a spolehlivý. Píst je poháněn vysokotlakým médiem (plynem) uskladněným ve vysokotlaké nádrži. Tlak média v nádrži je snížen pomocí regulačních ventilů na provozní tlak, který vyvodí ovládací sílu. Pro aplikaci na systému DRS je třeba použít dvojčinný píst, aby bylo možno klapky otvírat a i zavírat. Nevýhodou pneumatického pohonu je především to, že jsou možné pouze dvě polohy klapky a to otevřeno a zavřeno.



Obr. 8 Dvojčinný pneumatický píst [11]

Tento typ pohonu DRS je hojně využíván u vozů Formule 1 a byl i velice používaný na vozech Formula Student. S pravidly omezujícími šířku křidel (viz kapitola 3.2) však týmy Formule Student začali používat více klapky u víceprvkových křidel, aby bylo dosaženo požadovaného přitlaku. To mělo negativní vliv na používání pneumatických pístů, protože je třeba použít robustní mechanické propojení klapky. Další možností je, použít jeden píst pro každou ovládanou klapku zvlášť. Obě tato řešení sebou přináší nežádoucí navýšení hmotnosti. Proto je tento pohon ideální pro ovládní jedné klapky.

4.1.2 Elektronický pohon

Pro elektronicky poháněné natáčení klapky se využívá servomotorů. Jejich velkou výhodou jsou malé rozměry a vysoký výkon, především u servomotorů používaných RC modeláři. Používají se především digitálně řízené servomotory, protože jejich elektronika obsahuje procesor, který umožňuje ovlivnit některé parametry servomotoru, jako je například směr otáčení, poloha natočení při výpadku signálu, rychlost otáčení atd. Pomocí servomotoru lze zaručit rychlé natočení do přesně stanovené polohy. Je tedy možné, mimo otevřeno a

zavřeno, využít více poloh natočení klapky, jako například aerodynamickou brzdu (klapky natočeny tak, aby měly co největší čelní plochu a součinitel aerodynamického odporu).



Obr. 9 Digitálně řízený servomotor [12]

Ovládání DRS pomocí servomotorů je v soutěži Formula Student nejrozšířenější. Zejména proto, že není zapotřebí navyšovat váhu vozu tlakovou nádobou jako u pneumatického ovládání. Další výhodou je množství konstrukčních možností, kam servomotor umístit a jak docílit otáčení klapky.

4.2 Způsoby ovládání elektronicky poháněného DRS

Dělí se podle umístění a počtu servomotorů a způsobu přenášení točivého momentu servomotoru na klapky.

4.2.1 Přímé elektronické ovládání

Spočívá v zabudování servomotoru přímo do profilů klapky, které mají být pohyblivé. Aby nedošlo ke vzpříčení, je třeba do každé ovládané klapky umístit dva servomotory. Z toho vyplývá, že pro tříprvkové křídlo se dvěma ovládanými klapkami bude zapotřebí čtyř servomotorů. Velkou nevýhodou tohoto způsobu ovládání je však právě umístění servomotoru v profilu, obzvláště u tenkých leteckých profilů jako je S1223. Protože rozměry servomotoru o dostatečné síle pro ovládání klapky jsou větší, než šířka profilu, je třeba upravit tvar klapky podle rozměrů servomotoru v místě, kde bude zabudováno. Tím dojde k narušení proudění v těchto oblastech a zmenší se účinné rozpětí křídla. Tento způsob ovládání je znázorněn na obr. 10.



Obr. 10 Klapky s vloženými servomotory od Sooner Racing Team

4.2.2 Elektro-mechanické ovládání

Tento způsob, podobně jako přímé ovládání, využívá servomotoru jako hnacího členu. Rozdílem však je to, že servomotor je s klapkami spojeno pomocí kloubového mechanismu, což umožňuje současný pohyb klapek. Tento způsob je výhodný, především pro víceprvková křídla. Spřažením klapek pomocí kloubového mechanismu se omezí počet použitých servomotorů. Servomotor je díky použití mechanismu možno umístit do hlavního profilu křídla, kde již neovlivňují proudění. Umístěním servomotoru v hlavním profilu také sníží těžiště křídla. Oproti přímému ovládání je však nutné použít větší a silnější servomotory.

Elektro-mechanické ovládání lze umístit doprostřed křídla, kde stačí použít jen jeden servomotor pro ovládání několika klapek současně. Toto uspořádání však sebou nese několik nevýhod. Jednou z nevýhod je, že páky a táhla, umístěné uprostřed křídla, výrazně negativně ovlivňují proudění kolem křídla. Čímž zmenšují účinné rozpětí křídla. Při navrhování kloubového mechanismu je také nutné dbát na to, aby táhla mechanismu nepřišla do kolize s klapkou. Je tedy třeba navrhnout páky mechanismu dostatečně dlouhé a umístěné tak aby ke kolizi nemohlo dojít. Příklad tohoto uspořádání je vidět na obr. 11.



Obr. 11 Mechanismus s jedním servomotorem umístěný uprostřed křídla [1]

Další možností je použití dvou servomotorů, umístěných každý na jedné straně hlavního profilu. Kloubový mechanismus spojující servomotor s klapkami je potom umístěn buď z vnější, nebo z vnitřní strany bočnice. Umístění mechanismu na vnější straně bočnice je výhodnější, protože nezmenšuje účinné rozpětí křídla rušením proudícího vzduchu. Tento typ uspořádání se dvěma servomotory a kloubovým mechanismem umístěným vně křídla je jedním z nejčastěji používaných ovládání DRS u nových vozů Formula Student. Tento způsob uspořádání je vidět na obr. 12.



Obr. 12 Mechanismus vně bočnice se dvěma servy po stranách od Team Delft

4.3 Oblasti použití DRS

Aktivní aerodynamické prvky snižující odpor vozidla lze aplikovat jak na zadní křídlo, tak i na přední křídlo. Mohou být i stejně konstrukčně řešené jednou z výše uvedených variant. U vozů Formula Student se však DRS používá především na zadním křídle. To proto, že vozy nedosahují na trati tak velkých rychlostí, aby byl efekt snížení odporu předního křídla významný, vzhledem k navýšení hmotnosti křídla. Navíc přední křídlo má za úkol produkovat většinu aerodynamického přitlaku působícího na vozidlo a usměrnit tok proudu vzduchu. Otevřením klapky předního křídla, jak bylo zmíněno v kapitole 2, dojde k poklesu produkované aerodynamické přitlačné síly a vlivem toho by mohla přední kola ztratit dobrý kontakt s vozovkou. Také by to mělo negativní vliv na obtékání vozidla vzduchem.

V předchozích ročnících Formula Student nebyly aerodynamické prvky tolik omezeny pravidly. Například zadní křídlo mohlo být širší než pravidla umožňují nyní, muselo být užší než vzdálenost vnějších okrajů zadních pneumatik. To umožnilo použít dělené zadní křídlo, kde mohla být ovládána každá půlka samostatně. S pravidly omezujícími šířku zadního křídla na menší než vzdálenost mezi vnitřními stranami zadních pneumatik, ztratilo však použití děleného křídla smysl, protože se tím zmenší účinné rozpětí křídla.

Tým UTA Racing vytvořil v roce 2013 vůz, který měl individuální, elektronicky řízenou kontrolu nad každým ze čtyř kvadrantů. Tedy přední křídlo mělo individuálně ovládané klapky na pravé a levé straně a zadní křídlo bylo dělené, taktéž s individuálním ovládním pravé a levé části.



Obr. 13 Vůz UTA Racing se čtyřmi individuálně ovládanými kvadranty aktivní aerodynamiky

Tým UTA Racing vyvíjel aktivní aerodynamický systém nejen jako redukci odporových sil, ale i jako platformu pro pokročilejší řídicí systémy, jako je aerodynamický anti-dive a anti-roll, který může pomoci řidiči na trati a dále zkrátit čas jízdy. [5]

5 Přínos DRS

Jak bylo zmíněno v kapitole 2, přínos DRS spočívá v tom, že na zvolených úsecích trati je pomocí aktivních aerodynamických prvků zmenšena čelní plocha vozu. To má za následek snížení aerodynamického odporu podle vzorce 2.2.2. Když síla motoru nemusí překonávat tak velké odporové síly vzduchu, umožní to vozidlu dosáhnout vyšší maximální rychlosti a pohybovat se s větším zrychlením. To v důsledku znamená, že se zkrátí čas, za který je vozidlo schopno urazit danou dráhu (kolo závodu).

Je tedy potřeba vypočítat, o kolik se zkrátí čas, za který je vozidlo schopno trať urazit, když bude zadní křídlo vybaveno aktivními aerodynamickými prvky pro snížení odporu. Aby bylo možno vypočítat konkrétní časový přínos, bylo provedeno testování na voze z minulé sezóny s názvem UWB03.

5.1 Experimentální Testování vozu UWB03

Pro získání reálných dat bylo provedeno měření jízdního odporu na voze UWB03. Měření bylo provedeno dojezdovou zkouškou.

5.2 Dojezdová zkouška

Postup při měření celkového jízdního odporu dojezdovou zkouškou je následující. Vůz je po dosažení určité rychlosti ponechán samovolně snižovat rychlost do předem stanovené hodnoty. Během zkoušky se měří: čas, ujetá vzdálenost, rychlost, zrychlení.

- Základní parametry zkoušky:

Počáteční rychlost: 100 [km/h]; 27,78 [m/s]

Koncová rychlost: 60 [km/h]; 16,67 [m/s]

- Měřené veličiny:

Čas [s]

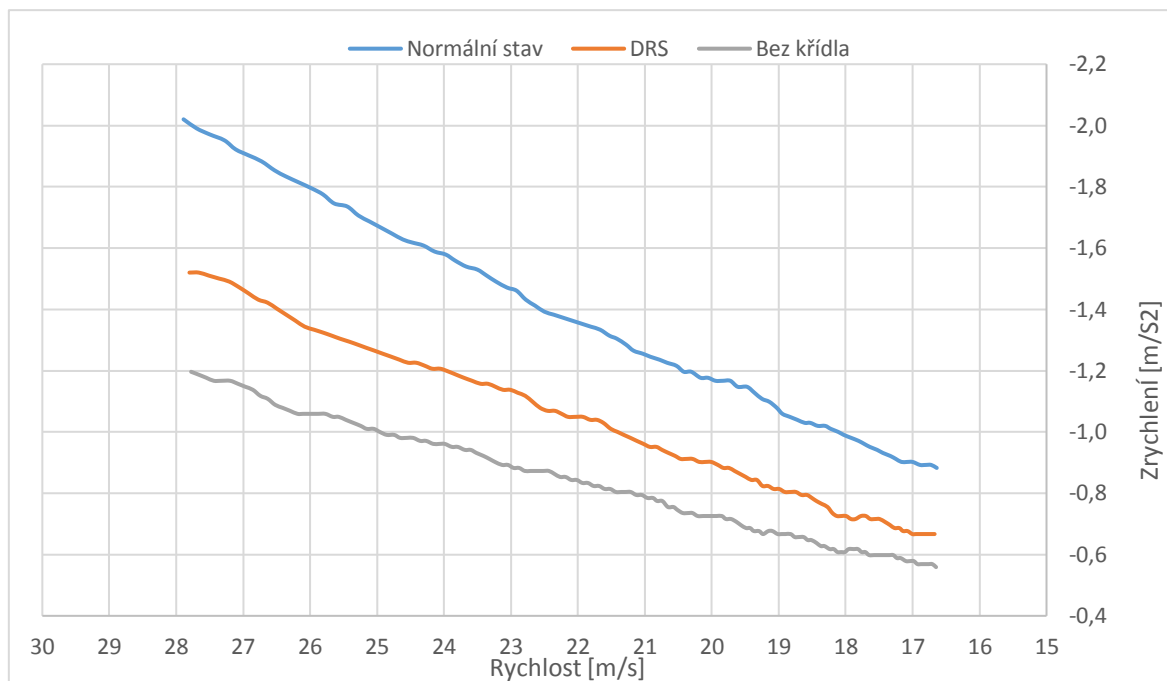
Ujetá vzdálenost [m]

Rychlost [m/s]

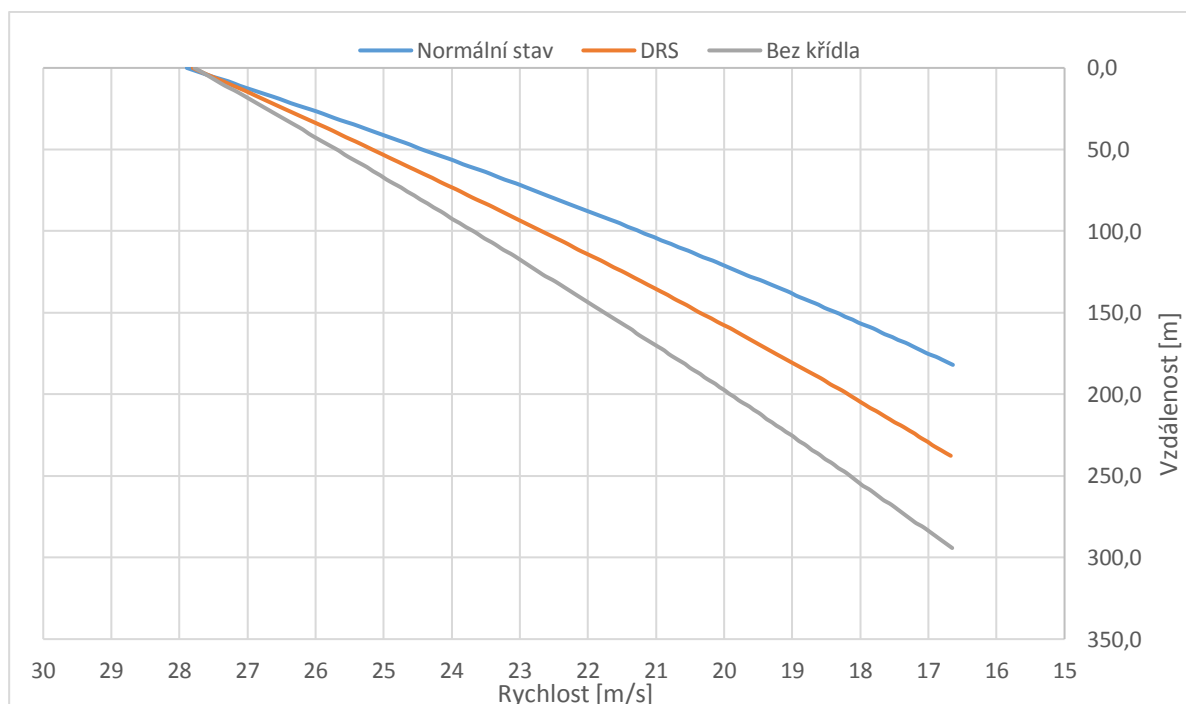
Zrychlení [m/s²]

5.2.1 Naměřené hodnoty

Na grafu č. 1 a 2 jsou znázorněny hodnoty naměřené při měření dojezdové zkoušky. Kompletní výpis hodnot je v příloze č. 1



Graf 1 - Závislost rychlostní a zrychlení během dojezdové zkoušky



Graf 2 - Závislost rychlosti a vzdálenosti během dojezdové zkoušky

5.2.2 Vyhodnocení naměřených dat

Pro výpočet aerodynamického odporu byla provedena interpolace naměřených dat pomocí polynomu druhého stupně, který vychází ze základních rovnic jízdních odporů vozidla.

Základní rovnice jízdních odporů vozidla:

$$F_c = F_V + F_A \quad 5.2.2.1$$

$$F_c = m \cdot a \quad 5.2.2.2$$

$$F_V = Z_k \cdot \frac{e}{r_d} \quad 5.2.2.3$$

$$F_A = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot S_x \cdot \rho \cdot v^2 \quad 5.2.2.4$$

kde:

F_c – Celkový jízdní odpor vozidla

F_V – Valivý odpor vozidla

F_A – Aerodynamický odpor vozidla

m – Celková hmotnost vozidla

a – Zrychlení vozidla

Z_k – Radiální síla kola k vozovce

e – Rameno valivého odporu

r_d – Dynamický poloměr kola

C_x – Součinitel tření vozidla v podélném směru

S_x – Čelní plocha vozidla

ρ – Hustota vzduchu

v – Rychlost vozidla

Vyjádření polynomu druhého stupně:

$$F_c = F_V + F_A \quad 5.2.2.5$$

$$m \cdot a = Z_k \cdot \frac{e}{r_d} + \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot S_x \cdot \rho \cdot v^2 \quad Z_k = m \cdot g \quad 5.2.2.6$$

$$a = g \cdot \frac{e}{r_d} + \frac{1}{2 \cdot m} \cdot C_x \cdot S_x \cdot \rho \cdot v^2 \quad 5.2.2.7$$

$$k_0 = g \cdot \frac{e}{r_d} \quad k_2 = \frac{1}{2 \cdot m} \cdot C_x \cdot S_x \cdot \rho \quad 5.2.2.8$$

$$a = k_0 + k_2 \cdot v^2 \quad 5.2.2.9$$

Základní parametry vozu a okolí:

m – 340 [kg] – Hmotnost

m_{bez} – 333,5 [kg] – hmotnost bez křídla

r_d – 232 [mm] – poloměr kola

g – 9,81 [m/s²] – Tíhové zrychlení

ρ – 1,230 [kg/m³] – Hustota vzduchu

S_{x-nor} – 1,13 [m²] – Čelní plocha vozidla – test s normálním nastavením křídla

S_{x-DRS} – 1,02 [m²] – Čelní plocha vozidla – test s DRS

S_{x-bez} – 0,88 [m²] – Čelní plocha vozidla – test bez křídla

a_{0-nor} – -2,0202 [m/s²] – Počáteční zrychlení – test s normálním nastavením křídla

$a_{1-nor} = -0,8826 [m/s^2]$ – Konečné zrychlení – test s normálním nastavením křídla
 $a_{0-DRS} = -1,5200 [m/s^2]$ – Počáteční zrychlení – test s DRS
 $a_{1-DRS} = -0,6669 [m/s^2]$ – Konečné zrychlení – test s DRS
 $a_{0-bez} = -1,1964 [m/s^2]$ – Počáteční zrychlení – test bez křídla
 $a_{1-bez} = -0,5590 [m/s^2]$ – Konečné zrychlení – test bez křídla
 $v_{0-nor} = 27,89 [m/s]$ – Počáteční rychlost – test s normálním nastavením křídla
 $v_{1-nor} = 16,64 [m/s]$ – Konečné rychlost – test s normálním nastavením křídla
 $v_{0-DRS} = 27,80 [m/s]$ – Počáteční rychlost – test s DRS
 $v_{1-DRS} = 16,67 [m/s]$ – Konečná rychlost – test s DRS
 $v_{0-bez} = 27,78 [m/s]$ – Počáteční rychlost – test bez křídla
 $v_{1-bez} = 16,65 [m/s]$ – Konečná rychlost – test bez křídla
 $k_{0-nor} = -0,25394 [-]$ – Konstanta polynomu – test s normálním nastavením křídla
 $k_{2-nor} = -0,00227 [-]$ – Konstanta polynomu – test s normál. nastavením křídla
 $k_{0-DRS} = -0,18793 [-]$ – Konstanta polynomu – test s DRS
 $k_{2-DRS} = -0,00172 [-]$ – Konstanta polynomu – test s DRS
 $k_{0-bez} = -0,20154 [-]$ – Konstanta polynomu – test bez křídla
 $k_{2-bez} = -0,00129 [-]$ – Konstanta polynomu – test bez křídla

Stanovení konstant k_{0-nor} a k_{2-nor} vyjádřeného polynomu bylo provedeno stanovením konstanty k_{2-nor} z počátečních a koncových naměřených hodnot.

Stanovení konstanty k_{2-nor} pro test s normálním nastavením křídla

$$k_{2-nor} = \frac{a_{0-nor} - a_{1-nor}}{v_{0-nor}^2 - v_{1-nor}^2} \quad 5.2.2.10$$

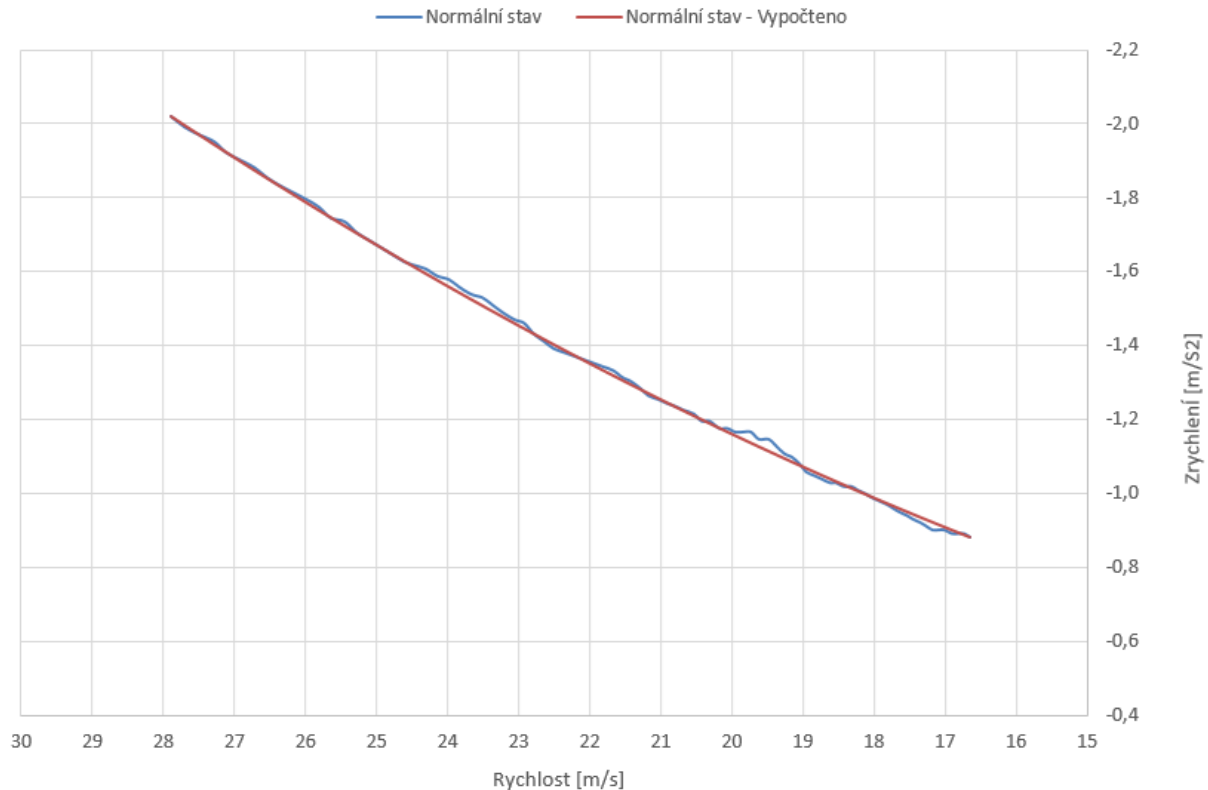
$$k_{2-nor} = -0,00227 \quad 5.2.2.11$$

Za pomoci stanovené konstanty k_{2-nor} a počátečních hodnot měření byla určena druhá konstanta k_{0-nor} .

$$k_{0-nor} = a_{0-nor} - k_{2-nor} \cdot v_{0-nor}^2 \quad 5.2.2.12$$

$$k_{0-nor} = -0,25394 \quad 5.2.2.13$$

Po stanovení konstant polynomu bylo provedeno porovnání vypočteného a naměřeného zrychlení, které je zobrazeno na grafu č. 3



Graf 3 - Závislost rychlosti na zrychlení - interpolace naměřených hodnot

Protože funkce polynomu je téměř totožná s naměřenými hodnotami, byly konstanty k_{0-nor} a k_{2-nor} použity pro stanovení C_{x-nor} a e_{nor}

$$e_{nor} = k_{0-nor} \cdot \frac{r_d}{g} \quad 5.2.2.14$$

$$e_{nor} = -6,00551 \text{ mm} \quad 5.2.2.15$$

$$C_{x-nor} = k_{2-nor} \cdot \frac{2 \cdot m}{S_{x-nor} \cdot \rho} \quad 5.2.2.16$$

$$C_{x-nor} = -1,11058 \quad 5.2.2.17$$

Stanovení konstant k_{0-DRS} a k_{2-DRS} bylo provedeno stejným způsobem, jako při normálním nastavení křídla

Stanovení konstanty k_{2-DRS} pro test s DRS

$$k_{2-DRS} = \frac{a_{0-DRS} - a_{1-DRS}}{v_{0-DRS}^2 - v_{1-DRS}^2} \quad 5.2.2.18$$

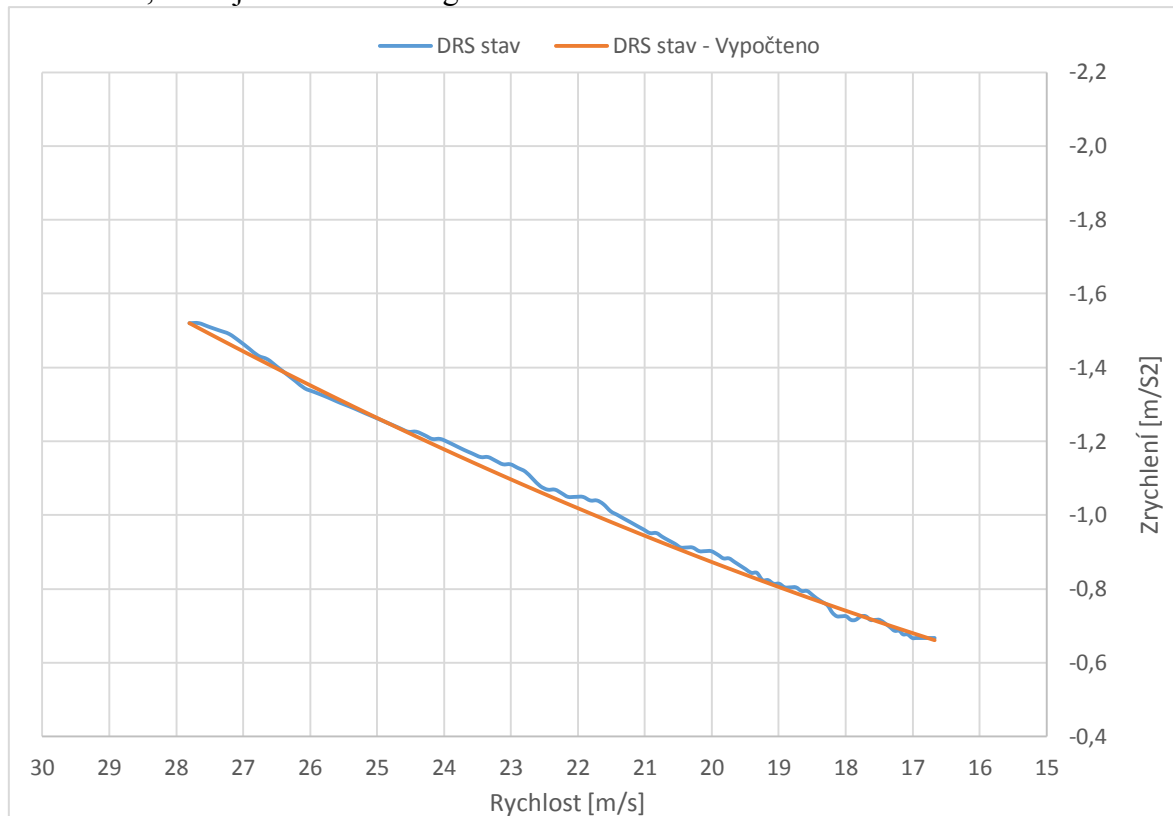
$$k_{2-DRS} = -0,00172 \quad 5.2.2.19$$

Za pomoci stanovené konstanty k_{2-DRS} a počátečních hodnot měření byla určena druhá konstanta k_{0-DRS} .

$$k_{0-DRS} = a_{0-DRS} - k_{2-DRS} \cdot v_{0-DRS}^2 \quad 5.2.2.20$$

$$k_{0-DRS} = -0,18793 \quad 5.2.2.21$$

Po stanovení konstant polynomu bylo provedeno porovnání vypočteného zrychlení a naměřeného, které je zobrazeno na grafu č. 4



Graf 4 - Závislost rychlosti na zrychlení - interpolace naměřených hodnot

Protože funkce polynomu je téměř totožná s naměřenými hodnotami, byly konstanty k_{0-DRS} a k_{2-DRS} použity pro stanovení C_{x-DRS} a e_{DRS}

$$e_{DRS} = k_{0-DRS} \cdot \frac{r_d}{g} \quad 5.2.2.22$$

$$e_{DRS} = -4,44441 \text{ mm} \quad 5.2.2.23$$

$$C_{x-DRS} = k_{2-DRS} \cdot \frac{2 \cdot m}{S_{x-DRS} \cdot \rho} \quad 5.2.2.24$$

$$C_{x-DRS} = -0,93420 \quad 5.2.2.25$$

Stanovení konstant k_{0-bez} a k_{2-bez} bylo provedeno stejným způsobem, jako při normálním nastavení křídla

Stanovení konstanty k_{2-bez} pro test bez křídla

$$k_{2-bez} = \frac{a_{0-bez} - a_{1-bez}}{v_{0-bez}^2 - v_{1-bez}^2} \quad 5.2.2.18$$

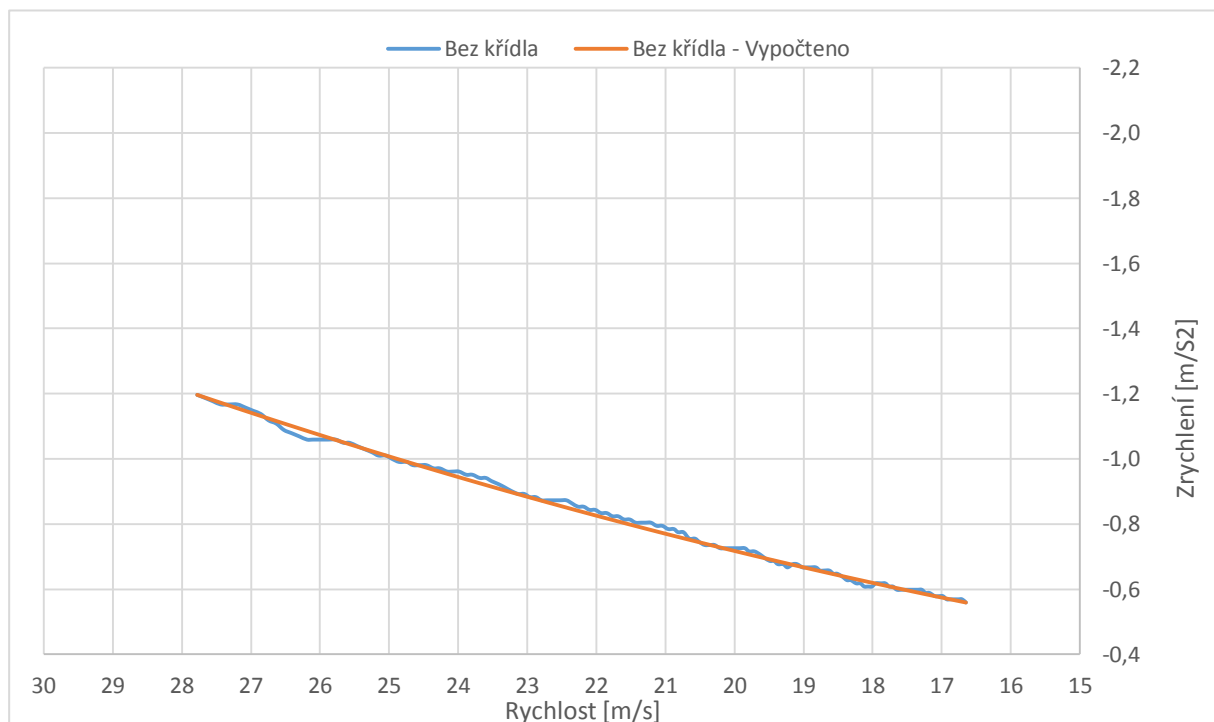
$$k_{2-bez} = -0,00129 \quad 5.2.2.19$$

Za pomoci stanovené konstanty k_{2-bez} a počátečních hodnot měření byla určena druhá konstanta k_{0-bez} .

$$k_{0-bez} = a_{0-bez} - k_{2-bez} \cdot v_{0-bez}^2 \quad 5.2.2.20$$

$$k_{0-bez} = -0,20154 \quad 5.2.2.21$$

Po stanovení konstant polynomu bylo provedeno porovnání vypočteného zrychlení a naměřeného, které je zobrazeno na grafu č. 5



Graf 5 - Závislost rychlosti na zrychlení - interpolace naměřených hodnot

Protože funkce polynomu je téměř totožná s naměřenými hodnotami byly konstanty k_{0-bez} a k_{2-bez} použity pro stanovení C_{x-bez} a e_{bez}

$$e_{bez} = k_{0-bez} \cdot \frac{r_d}{g} \quad 5.2.2.22$$

$$e_{bez} = -4,76634 \text{ mm} \quad 5.2.2.23$$

$$C_{x-bez} = k_{2-bez} \cdot \frac{2 \cdot m_{bez}}{S_{x-bez} \cdot \rho} \quad 5.2.2.24$$

$$C_{x-bez} = -0,79453 \quad 5.2.2.25$$

Tímto byly zjištěny koeficienty součinitele tření vozidla v podélném směru a ramena valivého odporu pro normální stav, DRS stav a vůz bez křídla. Z těchto hodnot lze dopočítat celkový jízdní odpor vozidla, který se skládá z valivého a aerodynamického odporu vozidla.

Stanovení jízdních odporů pro normální stav je dáno vztahy

$$F_{c-nor} = F_{V-nor} + F_{A-nor} \quad 5.2.2.26$$

$$F_{V-nor} = Z_k \cdot \frac{e_{nor}}{r_d} = m \cdot g \cdot \frac{e_{nor}}{r_d} \quad 5.2.2.27$$

$$F_{A-nor} = \frac{1}{2} \cdot C_{x-nor} \cdot S_{x-nor} \cdot \rho \cdot v^2 \quad 5.2.2.28$$

Stanovení jízdních odporů pro DRS stav je dáno vztahy

$$F_{c-DRS} = F_{V-DRS} + F_{A-DRS} \quad 5.2.2.29$$

$$F_{V-DRS} = Z_k \cdot \frac{e_{DRS}}{r_d} = m \cdot g \cdot \frac{e_{DRS}}{r_d} \quad 5.2.2.30$$

$$F_{A-DRS} = \frac{1}{2} \cdot C_{x-DRS} \cdot S_{x-DRS} \cdot \rho \cdot v^2 \quad 5.2.2.31$$

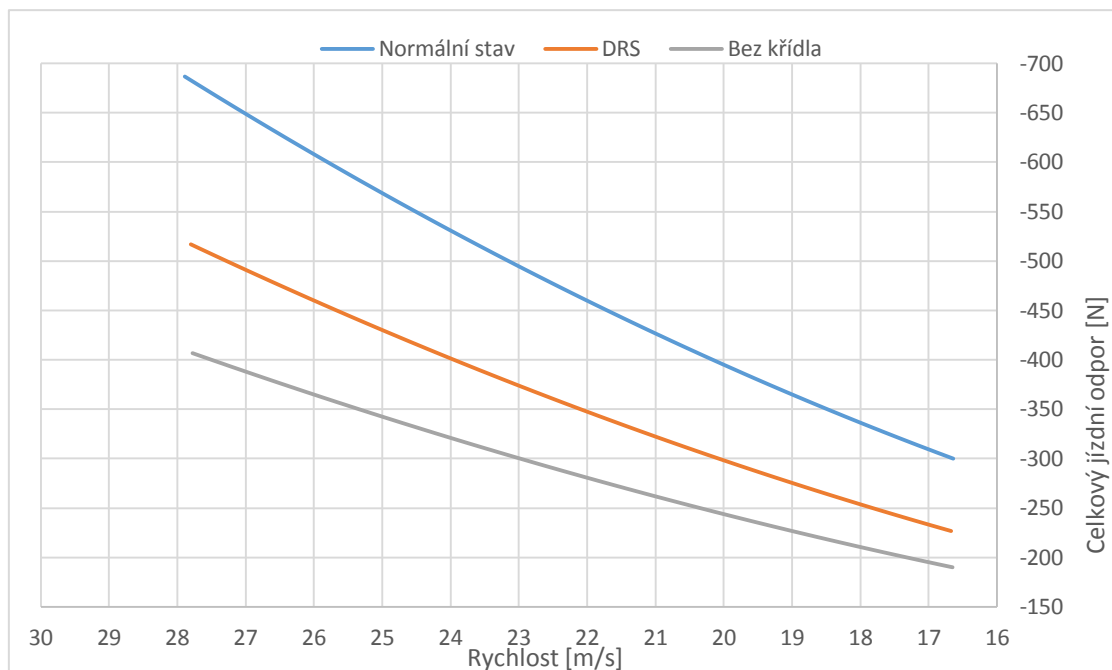
Stanovení jízdních odporů pro vůz bez křídla je dáno vztahy

$$F_{c-bez} = F_{V-bez} + F_{A-bez} \quad 5.2.2.32$$

$$F_{V-bez} = Z_k \cdot \frac{e_{bez}}{r_d} = m_{bez} \cdot g \cdot \frac{e_{bez}}{r_d} \quad 5.2.2.33$$

$$F_{A-bez} = \frac{1}{2} \cdot C_{x-bez} \cdot S_{x-bez} \cdot \rho \cdot v^2 \quad 5.2.2.34$$

Na grafu č. 6 jsou znázorněny hodnoty vypočtených jízdních odporů v závislosti na rychlosti. Kompletní výpis hodnot je v příloze č. 1



Graf 6 - Závislost jízdního odporu na rychlosti

Graf popisuje závislost celkového jízdního odporu na rychlosti. Z grafu je patrné, že jízdní odpor je úměrný kvadrátu rychlosti.

	Normální stav	DRS stav	Bez křídla
e	-6,00551	-4,44441	-4,76634
C_x	-1,11058	-0,93420	-0,79453

Tab. 1 Vypočtené hodnoty součinitele aerodynamického odporu C_x a ramene valivého odporu e

Výše uvedená tabulka obsahuje vypočtené hodnoty C_x a e . Absolutní hodnoty těchto vypočtených koeficientů odporu a ramene valivého odporu budou použity pro výpočet celkového jízdního odporu na závodní dráze a sprintu.

5.3 Přínos DRS v závodě „Akcelerační“

Tato disciplína je zaměřena na akceleraci vozu, jak vyplývá již z názvu. Tratí je sedmdesát pět metrů dlouhá, rovná dráha. V této disciplíně jde o dosažení co nejvyšší rychlosti resp. zrychlení. Z toho důvodu se tato disciplína jezdí s klapkami zadního křídla v poloze DRS (otevřeno), aby byla odporová síla minimalizována. Jelikož na této trati na vozidlo nepůsobí velké boční přetížení, není třeba tak velkých přítláčných sil a je tedy výhodnější nastavení s minimálním odporem.

Pomocí metody centrovaného zrychlení byla numericky vypočtena závislost rychlosti vozu na dráze pro všechny tři stavy (normál, DRS, bez křídla).

K výpočtu byly použity vzorce:

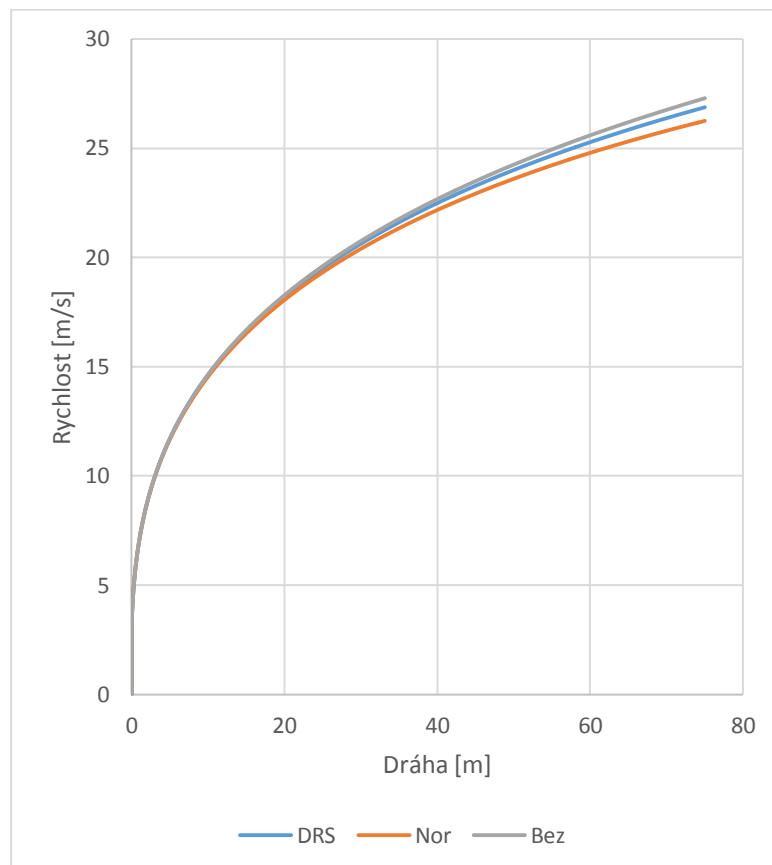
$$P = F \cdot v$$

5.3.2.1

$$\frac{P}{v} - F_c = m \cdot a \quad 5.2.2.33$$

$$a = \frac{P}{v \cdot m} - \frac{1}{2 \cdot m} \cdot S_x \cdot C_x \cdot \rho \cdot v^2 - g \cdot \frac{e}{r_d} \quad 5.2.2.34$$

Při výpočtu byl použit průměrný výkon motoru P o velikosti 36688 W, ale byly zanedbány ztráty v převodovce, třením apod. Hodnota výkonu byla získána pomocí iterace z dat naměřených při sprintu. Výpis naměřených a spočtených hodnot je uveden v příloze č. 2.



Graf 7 - Závislost rychlosti na dráze

Graf zobrazuje závislost rychlosti na ujeté dráze. Z grafu je patrné, že na dráze dlouhé 75 m bylo dosaženo různých maximálních rychlostí. Při nízkých rychlostech do 15 m/s stav křídla nemá výrazný vliv na jízdní vlastnosti. Při rychlostech nad 15 m/s začíná být rozdíl výrazný, protože aerodynamický odpor vozu roste s kvadrátem rychlosti.

	V _{max} [m/s]	t [s]	Δt [s]
Nor	26,25	4,019	-0,068
DRS	26,87	3,975	-0,024
Bez	27,29	3,951	0,000

Tab. 2 Spočtené maximální rychlosti a časy závodu akcelerace

V tabulce 2 jsou uvedeny maximální rychlosti a časy spočítané pro závod akcelerační. Rozdíl v čase s normálním nastavením a DRS je tedy 0,044 s. Pokud by DRS nebylo aktivováno, v tomto závodě, znamenalo by to zhoršení výsledného času a propad o čtyři pozice.

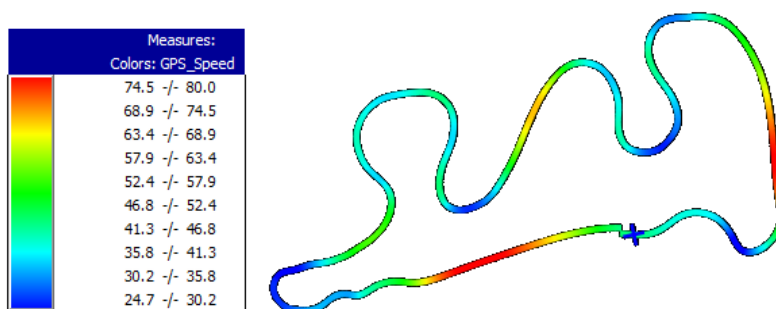
5.4 Závod typu endurance Hungary 2016

Přínos pro závod typu Endurance byl počítán z dat ze závodu v Maďarsku s vozem UWB03. Data byla získána měřením pomocí GPS a telemetrií vozu a byla zpracována v programu Race Studio Analysis. Protože zde se jedná o celkovou trať se zatáčkami a slalomy, byly porovnány pouze varianty normální a DRS, protože v současné době nedokážeme posoudit míru vlivu přítláčných sil v zatáčkách. Jelikož byly posouzeny tyto dvě varianty, lze jasně vyjádřit přínos DRS systému pro celkový čas vozu v závodě.

5.4.1 Použití DRS

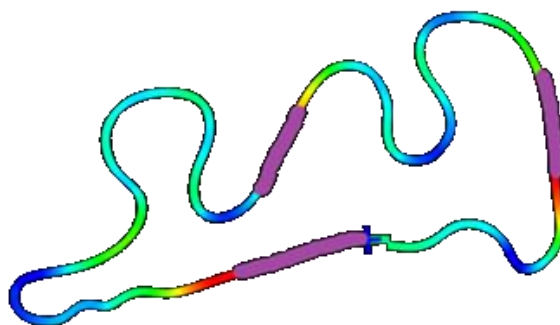
Jako vhodné části dráhy pro aktivaci DRS byly zvoleny rovné úseky dráhy, protože snížení odporové síly otevřením klapek křídla dojde také k výraznému snížení přítlaku zadního křídla. To by při průjezdu zatáčkou s otevřenými klapkami (poloha DRS) vedlo ke špatnému kontaktu zadních (hnacích) kol s vozovkou a tím k nestabilitě vozu. Na rovných úsecích trati není tak veliký přítlak nutný, protože se zde nepřenáší tak velká boční přetížení. Na rovných úsecích je cílem dosáhnout co nejvyšší maximální rychlosti. Její zvýšení lze dosáhnout snížením odporové síly viz kapitola 2.2.

Obrázek 14 je mapa trati v Maďarsku, která byla získána z GPS dat naměřených během závodu. Na obrázku jsou barevně vyznačeny rychlosti (měřené pomocí GPS) vozu na dráze.



Obr. 14 Trať v Maďarsku s naměřenými rychlostmi

Na obrázku 15 jsou vyznačeny úseky trati, kde je vhodné aktivovat systém DRS pro dosažení větší akcelerační a tím větší maximální rychlosti. Tyto úseky byly zvoleny s ohledem na výše zmíněné požadavky tak, aby maximalizovali využití aktivních aerodynamických prvků vozu.

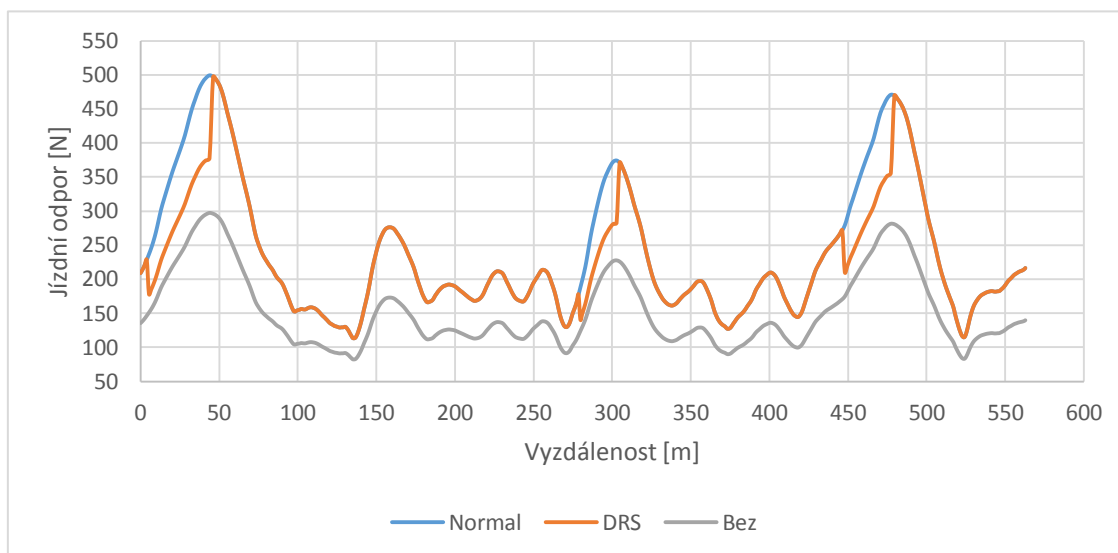


Obr. 15 Zvolené úseky pro aktivaci DRS

5.4.2 Vyhodnocení dat

Pomocí nalezených konstant C_x a e byl vypočten průběh celkového jízdního odporu vozidla na jedno kolo trati. K výpočtu byly použity rovnice 5.2.2.1 až 5.2.2.4. Kompletní výpis hodnot je v příloze č. 2.

Při použití DRS byl průběh určen jako s normálním nastavením křídla, až na vybrané vyznačené úseky, kde byly parametry změněny na příslušné hodnoty odporu pro DRS.



Graf 8 - Závislost jízdního odporu na dráze

Z grafu je patrný výrazný pokles jízdního odporu v úsecích trati, kde lze využít DRS. Na grafu je vidět, že použití zadního křídla (v normálním i otevřeném stavu) sebou nese veliký nárůst odporu obzvlášť na rychlých úsecích trati. To díky tomu, že aerodynamický odpor je závislý na kvadrátu rychlosti a také hmotnost vozu je vyšší oproti stavu bez křídla.

Pro výpočet rozdílu časů na jedno kolo byly použity rovnice:

$$P = F \cdot v \quad 5.3.2.1$$

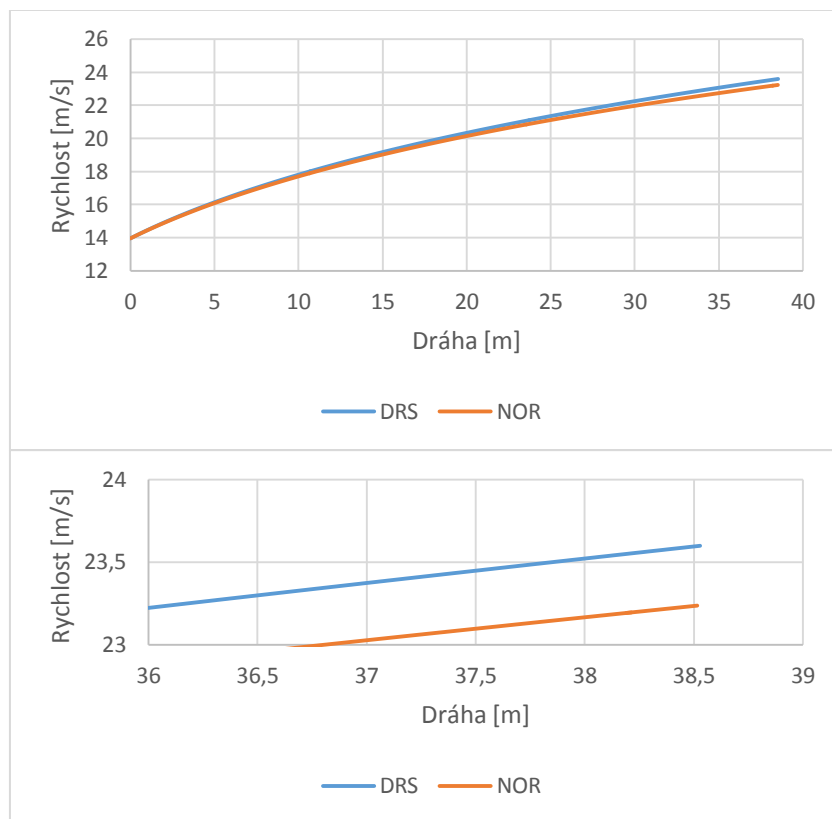
$$\frac{P}{v} - F_c = m \cdot a \quad 5.2.2.33$$

$$a = \frac{P}{v \cdot m} - \frac{1}{2 \cdot m} \cdot S_x \cdot C_x \cdot \rho \cdot v^2 - g \cdot \frac{e}{r_d} \quad 5.2.2.34$$

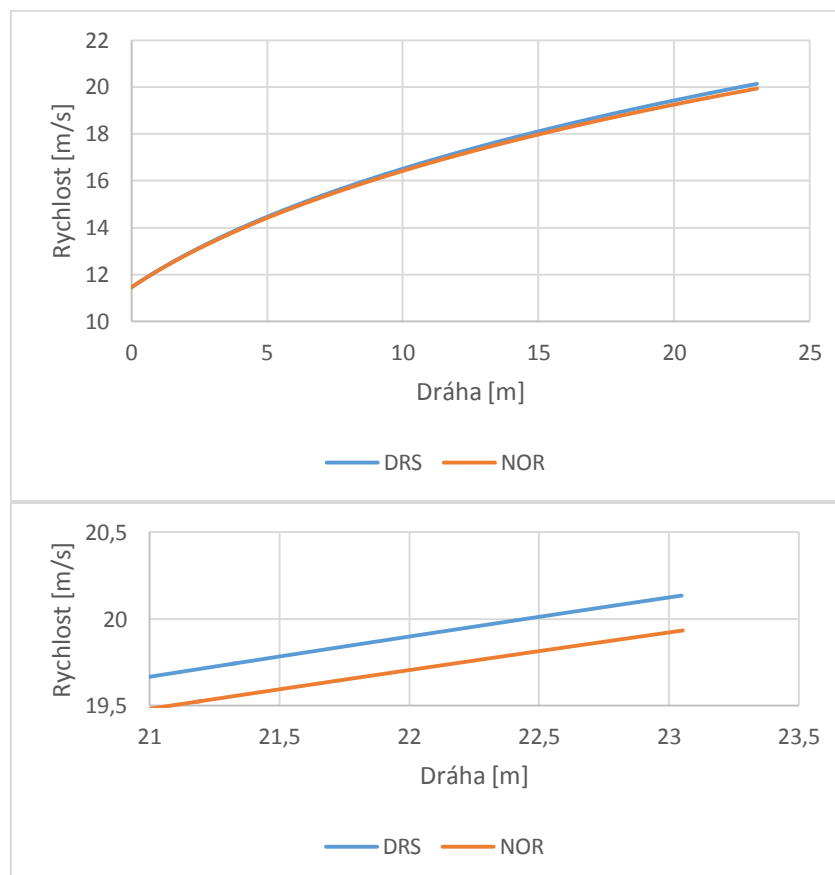
Při výpočtu byl použit průměrný výkon motoru P o velikosti 36688 W, ale byly zanedbány ztráty v převodovce, třením apod. Výpočet byl proveden numericky, metodou centrovaného zrychlení v programu Matlab. Kompletní výpis hodnot a skript pro výpočet jsou v příloze č. 3.

Porovnání jednotlivých stavů křídla a jejich časový přínos bylo provedeno jen pro zvolené úseky. To z toho důvodu, že na křídle se stav DRS aktivuje jen na daných úsecích.

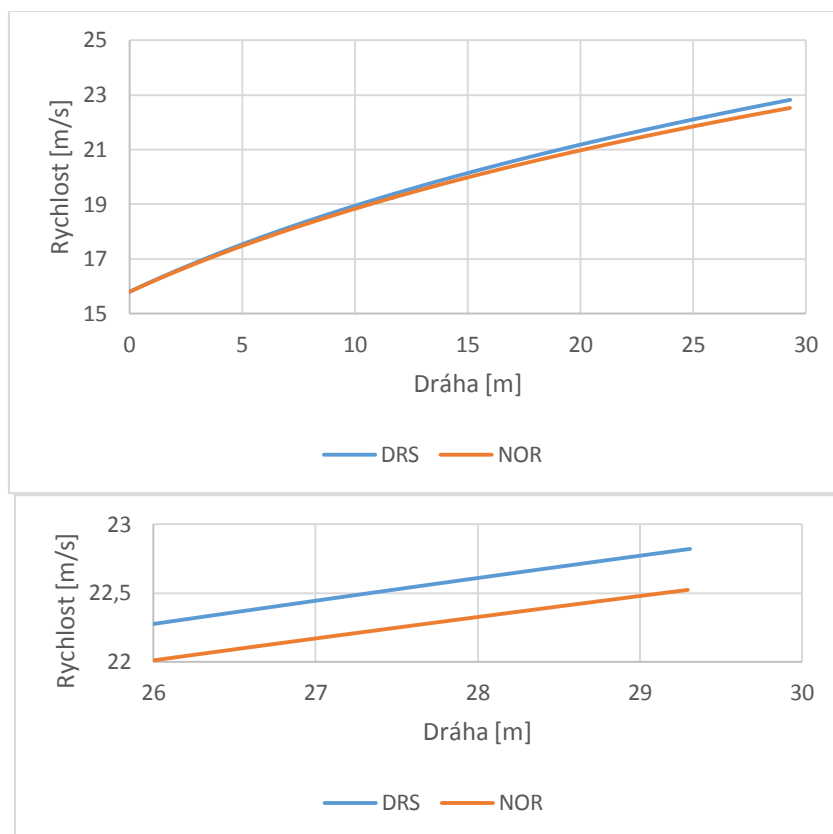
Vypočtené hodnoty byly vyneseny do grafů:



Graf 9 - Závislost rychlosti na dráze – úsek U1



Graf 10 - Závislost rychlosti na dráze – úsek U2



Graf 11 - Závislost rychlosti na dráze – úsek U3

úsek	stav	V_{max} [m/s]	t [s]	Δt [s]
U1	DRS	23,60	1,99	0
	Nor	23,24	2,006	0,016
U2	DRS	20,14	1,415	0
	Nor	19,93	1,423	0,008
U3	DRS	22,82	1,494	0
	Nor	22,52	1,504	-0,01

Tab. 3 Vypočtené zkrácení času na jedno kolo závodu endurance použitím DRS

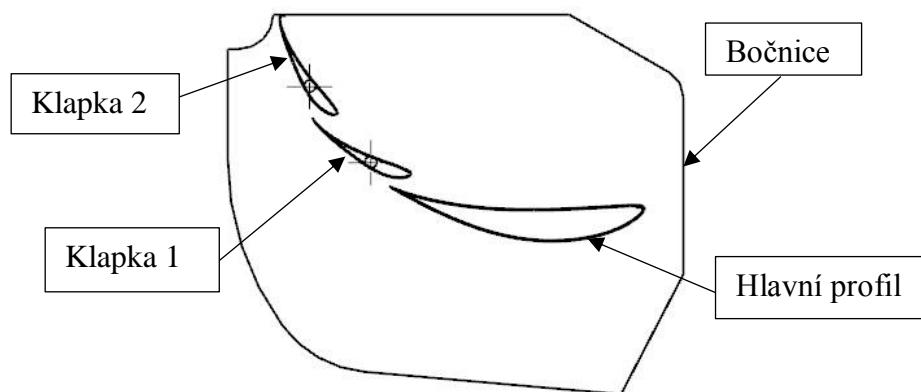
Z vypočtených dat vyplývá, že aktivací DRS na zvolených úsecích se na jedno kolo závodu zkrátí čas o 0,034 s oproti kolu zajištěmu s normálním nastavením křídla. Celý závod endurance se jede na 34 kol. Z toho vyplývá, že na celý závod bude čas kratší o 1,156 s. Přínos DRS je v celkovém čase závodu 0,06%, ale v tomto závodě rozhoduje o prvním místě i jedna sekunda.

Například v loňské sezóně, bylo dosaženo čtvrtého místa v závodě akcelerace se ztrátou pouhých 0,02 s na třetí příčku.

Další výhodou použití DRS systému na voze je kladné hodnocení koncepce vozu při „Design reportu“, kde díky DRS systému lze získat několik bodů do celkového hodnocení.

6 Konstrukční návrh řešení

Na základě poznatků z kapitoly 4 byly provedeny konstrukční návrhy řešení ovládní aktivních aerodynamických prvků zadního křídla. Zadní křídlo je navrženo jako tříprvkové křídlo. Skládá se z hlavního profilu, dvou klapek a bočnice. Hlavní profil je pevně uchycen pod úhlem náběhu $\alpha = 5^\circ$ k bočnicím a rámu. V normální (zavřeně) poloze je klapka 1 pod úhlem 30° a klapka 2 pod úhlem 60° . Pro takové křídlo bude navrženo DRS. Aby byl efekt snížení odporu využit co nejvíce, bude DRS navrženo pro sklápění obou klapek křídla. Tím se podstatně zmenší čelní plocha křídla.

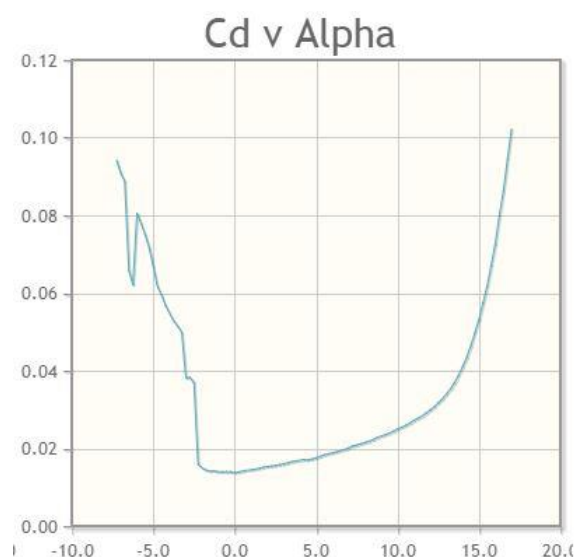


Obr. 16 Tříprvkové zadní křídlo

6.1 Požadavky

Konstrukční návrhy byly provedeny s ohledem jak na pravidla Formula Student, tak i na obecně kladené požadavky viz kapitola 3.

Dalším požadavkem je, aby klapky po aktivaci DRS byly co nejrychleji přesunuty do polohy s minimálním aerodynamickým odporem. Rychlost přesunu klapek z normální do DRS polohy je zásadní pro co nejdelší aktivování systému snížení odporu. Z obr. 17 je patrné, že klapky s leteckým profilem S1223 mají minimální odpor při úhlu náběhu $\alpha = 0^\circ$. Dále je nutné navrhnout takovou konstrukci, aby nedocházelo ke zkroucení klapek při jejich natáčení a tím k jejich deformaci. To znamená, že není vhodné, aby hnací člen byl pouze na jedné straně křídla.



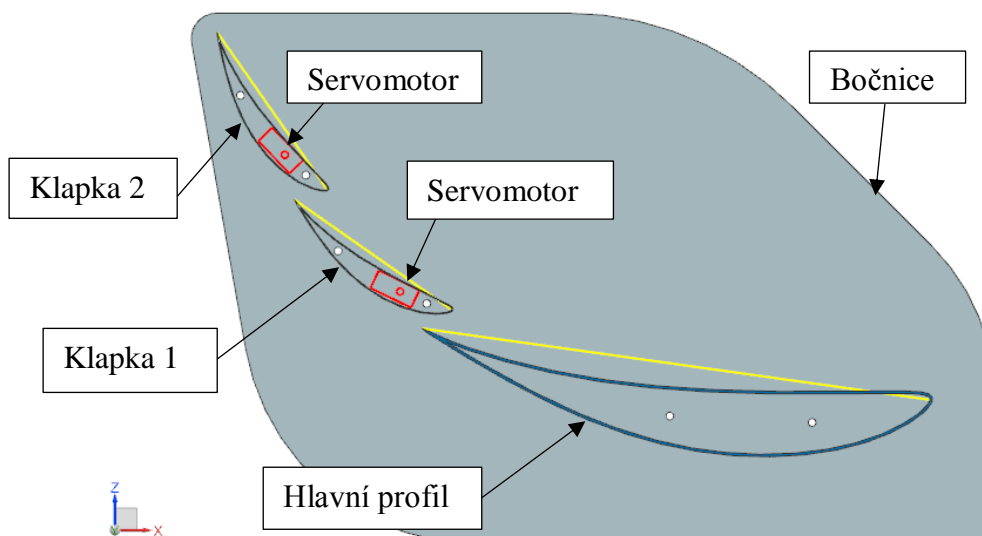
Obr. 17 Graf závislosti součinitele odporu na úhlu náběhu pro profil S1223 [12]

- Klapku 1 natočit o -30° , tak by úhel náběhu $\alpha = 0^\circ$
- Klapku 2 natočit o -60° , tak by úhel náběhu $\alpha = 0^\circ$

6.2 Varianty provedení

Na základě výše zmíněných požadavků byly navrženy čtyři varianty ovládní aktivních aerodynamických prvků zadního křídla. Návrhy jsou zakresleny schématicky na následujících obrázcích.

6.2.1 Přímé elektronické ovládní



Obr. 18 Přímé elektronické ovládní

Přímým ovládním rozumíme, že není použito kloubového mechanismu pro spřažení pohybu klapky. Na obou koncích klapky je servomotor, připevněný do krajní výztuhy (insertu) profilu klapky. Ty jsou konstrukčně upraveny dutým čepem, který přenáší zatížení vzniklé působením aerodynamických sil na jednořadá kuličková ložiska (tím ulehčuje ložiskům servomotoru). Ložiska jsou uložena v rámu aero paketu pomocí vložky. Víko je nasunuto na tisícíhran čepu servomotoru a sešroubován s vložkou v bočnici. Otáčení hřídele servomotoru přímo otáčí klapkou.

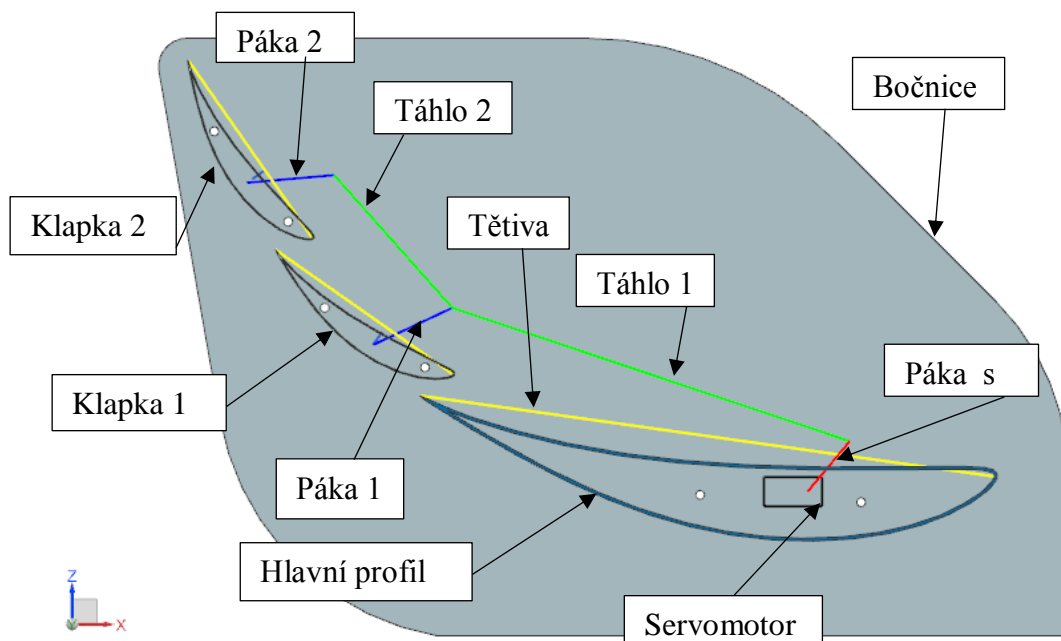
Výhody:

- Proudnice nejsou rušeny kloubovým mechanismem
- Tuhá konstrukce
- Lze jednoduše aplikovat na všechny klapky křídla

Nevýhody:

- Nutno použít 4 servomotory - drahé, těžké
- Konce klapky je nutno přizpůsobit rozměrům servomotoru
- Zmenší se funkční plocha křidel
- Složitější výroba
- Problém dopravy elektrického proudu pro servomotor
- Možné zpoždění servomotoru a zkroucení křídla

6.2.2 Elektro-mechanické ovládání jedním servomotorem



Obr. 19 Elektro-mechanické ovládání jedním servomotorem uprostřed křídla

Tato konstrukční varianta spočívá ve využití jednoho šestičlenného kloubového mechanismu uprostřed křídla. Servomotor je připevněn k držáku uprostřed hlavního profilu. Na tisícíhnan výstupní hřídele servomotoru je připevněna páka_s a pojištěna šroubem. Páka_s pomocí táhel a pák 1 a 2 přenáší točivý moment na obě klapky současně. Avšak každou klapku je nutno pootočit o různý úhel. To zajišťuje konstrukce kloubového mechanismu.

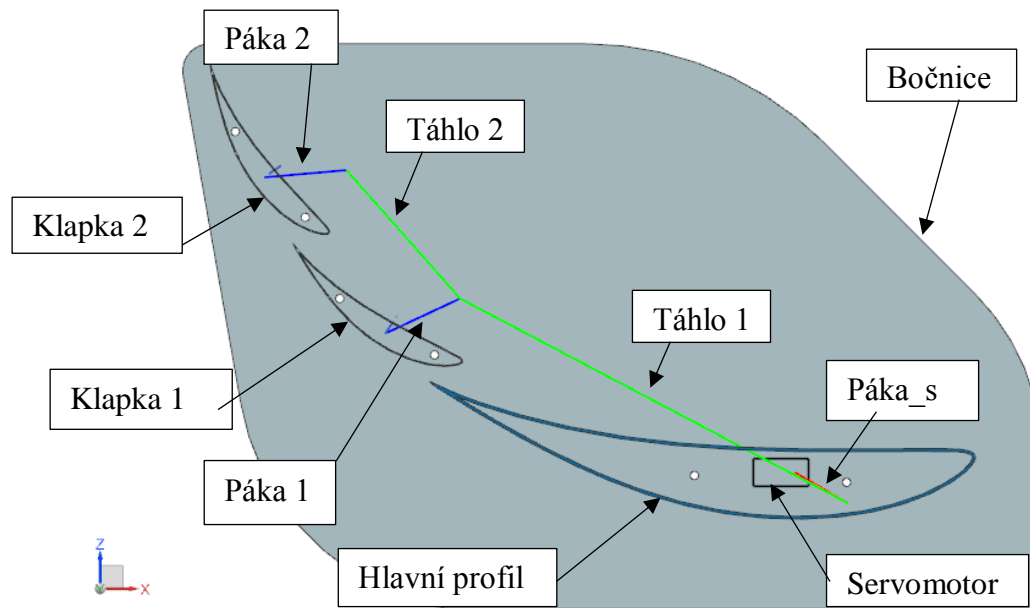
Výhody:

- Jeden servomotor
- Jeden kloubový mechanismus
- Neruší funkční krajní plochy křídel (uprostřed rušeno sáním motoru)
- Jednodušší program a elektroinstalace

Nevýhody:

- Servomotor musí být silnější a těžší
- Klapky je nutno pootočit o různý úhel
- Nebezpečí kolize táhla a klapky

6.2.3 Elektro-mechanické ovládání dvěma servomotory



Obr. 20 Elektro-mechanické ovládání dvěma servomotory po stranách a mechanismem vně křídla

Tento návrh je založen na dvou servomotorech umístěných v krajních výztužích hlavního profilu a dvou mechanizmech. Kloubové mechanismy jsou umístěny na vnějších stranách bočnic. Otáčením páky_s servomotorů jsou otevírány klapky křídla, každá pod různým úhlem. To zajišťuje šestičlenný mechanismus. Páky 1 a 2 ovládající naklápění klapky jsou nasazeny na tisícíhran a pojištěny šroubem na koncích otočných čepů.

Hlavní výhodou tohoto konstrukčního provedení je to, že mechanismus ovládající natáčení klapky nemá negativní vliv na obtékání profilů křídla. Proudnicí obtékající profily křídla nejsou rozrušovány mechanismem. Díky umístění mechanismu po stranách je také umožněno, aby páka_s, v poloze zavřeno, svírala ostrý úhel, nebo byla rovnoběžně s táhlem 1. To má za následek lepší zachytávání aerodynamických sil. Z toho vyplývá, že servomotor nebude tak namáhán.

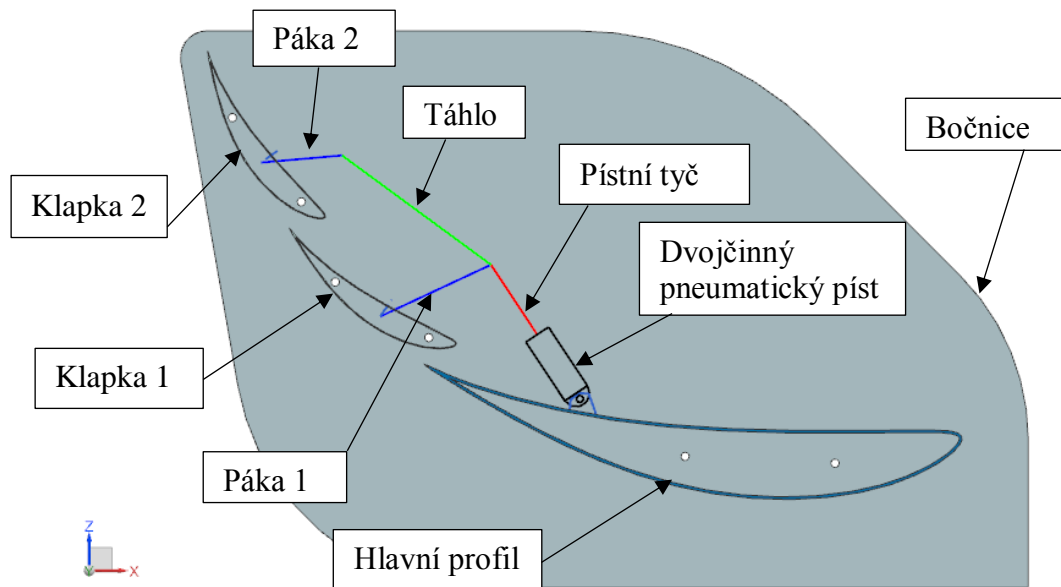
Výhody:

- Lze použít menší servomotory
- Neruší funkční plochy křídla
- Méně zatěžované servomotory

Nevýhody:

- Větší hmotnost vzhledem ku zdvojení mechanismu i pohonu
- Celé křídlo nesmí přesahovat rozměry dané pravidly FSAE
- Nehrozí kolize táhla a klapky

6.2.4 Pneumatické ovládání



Obr. 21 Pneumatické ovládání s klapkami spřaženými kloubovým mechanismem

Jedná se o prodloužený čtyřčlenný mechanismus. Dvočinný pneumatický píst je rotačně připojen uprostřed hlavního profilu. Vysunutím pístní tyče je vyvozena síla, která otevírá klapky. Je důležité vhodně upravit tvar táhlo, aby nedošlo ke kolizi s křídlem.

Výhody:

- Jeden kloubový mechanismus ovládání
- Neruší funkční krajní plochy křidel (uprostřed rušeno sáním motoru)
- Veliká rychlost otevření/zavření klapek

Nevýhody:

- Možnost netěsností
- Nutné konstrukční úpravy táhlo
- Možné ohrožení funkčnosti pneumatické převodovky

7 Výběr nejvhodnější varianty

Z výše uvedených řešení je třeba zvolit to nejvhodnější. To je takové řešení, které příliš nenavýší hmotnost vozu a bude spolehlivé a funkční. Pro objektivní vyhodnocení bylo použito několika metod, s jejichž pomocí bylo vybráno nejvhodnější řešení pro vůz UWB04. Jednak průzkum řešení ostatními týmy pro zmapování konkurenčních návrhů, z kterého se lze poučit, jaká řešení jsou a nejsou vhodná. Dále pak rozhodovací analýza, z které pomocí vybraných kritérií a jejich důležitosti bude vybráno ono nejlepší řešení.

7.1 Používaná řešení týmy FSAE

Byla provedena rešerše používaných řešení týmů formule SAE.

tým		pneumat.	el. mot.	mech	přímé	uprostřed	vně boč.	uvnitř boč.
TU Graz		0	1	0	1	0	0	0
ČVUT		0	1	1	0	1	0	0
Running Snail		0	1	1	0	0	0	1
KA-RaceIng		0	1	1	0	0	1	0
UTA Racing		0	1	1	0	0	1	1
Monash Motorsport		1	0	1	0	1	0	0
SCCA		0	1	1	0	1	1	0
UWashington		1	0	1	0	1	0	0
Missouri S & T		1	0	1	0	1	0	0
Team Delft		0	1	0	1	0	0	0
Rennteam		0	1	0	1	0	0	0
Sooner Racing		0	1	0	1	0	0	0
ETSEIB		0	1	1	0	1	0	0
AMZ		0	1	0	1	0	0	0
	Σ	3	11	9	5	6	3	2

Tab. 4 Řešení konstrukce DRS použité týmy Formula Student

Průzkum používaných řešení ukázal, že 78,6% používaných pohonů DSR u vozů FSAE je realizován servomotorem. Z tabulky je patrné, že většina týmů používá k natáčení segmentů křídel čtyř či vícečlenný mechanismus. Pokud se zaměříme na týmy, které používají servomotor, tak je situace vyrovnanější, avšak přímé ovládání segmentů křídla (servomotory zabudovány na krajích segmentu křídla) zaostává v četnosti použití za kloubovým mechanismem. Po stranách aero paketu měl mechanismus umístěn méně než polovina týmů, většina zvolila umístění uprostřed aero paketu.

S přihlédnutím k těmto výsledkům průzkumu se jako optimální varianta jeví použít kloubový mechanismus umístěný uprostřed křídla a poháněný servomotorem.

7.2 Rozhodovací analýza

Rozhodovací analýza je nedílnou součástí rozhodovacího procesu, jelikož by bylo nezodpovědné rozhodovat se jen na základě intuice. Pomocí rozhodovací analýzy je možné objektivně rozhodnout o nejvhodnější variantě pro dané požadavky.

7.2.1 Párové srovnávání

Slouží k přiřazení váhy daným kritériím, podle kterých budeme posuzovat nejvhodnější variantu. Nejprve je nutné rozhodnout, která kritéria jsou důležitější a která méně. Jako nejdůležitější kritérium byla zvolena hmotnost.

Takto získané váhy jednotlivých kritérií (součinitel důležitosti) jsou v morfologické analýze přiřazeny daným kritériím. Přenásobí-li se hodnota přiřazená danému kritériu (pro danou variantu) a součinitel důležitosti (Pr), získáme srovnání vhodnosti konstrukčních variant s ohledem na důležitost jednotlivých kritérií.

V tabulce níže je uvedena důležitost jednotlivých kritérií.

k1>k6>k4>k3>k2>k5>k7		k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	SUMA	Pr
		hmotnost	jednoduchost	vyrobitelnost	aerodin	cena	funkčnost	ovladatel		
k1	hmotnost	x	1	1	1	1	1	1	6	0,3
k2	jednoduchost	0	x	0	0	1	0	1	2	0,1
k3	vyrobitelnost	0	1	x	0	1	0	1	3	0,15
k4	aerodynamika	0	0	1	x	1	0	1	3	0,15
k5	cena	0	0	0	0	x	0	1	1	0,05
k6	funkčnost	0	1	1	1	1	x	1	5	0,25
k7	ovladatelnost	0	0	0	0	0	0	x	0	0

Tab. 5 Párové srovnávání

7.2.2 Morfologická analýza

Každé kritérium má svou váhu, získanou pomocí párového srovnávání. Bylo provedeno porovnání mezi variantami řešení pro každé kritérium. Řešení, které dané kritérium splňuje nejlépe, bylo ohodnoceno 4 body, které nejhůře 1 bod. Varianta, která dosáhne největšího počtu bodů je tou hledanou nejvhodnější variantou.

Varianta	hmotnost		jednoduchost		vyrobitelnost		aerodynamika		cena		funkčnost		ovladatelnost		SUMA		POŘADÍ	
	0,3	0,1	0,15	0,15	0,05	0,25	0											
přímé	1	0,3	1	0,1	4	0,6	1	0,15	1	0,1	3	0,75	1	0	12	1,95	4	4
uprostřed-1s	3	0,9	2	0,2	1	0,15	3	0,45	4	0,2	2	0,5	3	0	18	2,4	3	3
po stranách-2s	2	0,6	3	0,3	3	0,45	4	0,6	3	0,2	4	1	2	0	21	3,1	1	1
uprostřed-píst	4	1,2	4	0,4	2	0,3	2	0,3	2	0,1	1	0,25	4	0	19	2,55	2	2

Tab. 6 Morfologická tabulka

Z morfologické matice vyplývá, že nejvhodnější variantou je elektro-mechanicky ovládané DRS pomocí dvou servomotorů. Servomotory jsou umístěny po stranách hlavního profilu křídla a natáčení klapky zajišťují dva šestičlenné kloubové mechanismy na vnějších stranách bočnic. Viz.: oddíl 6.2.3

7.3 Vybraná varianta

Byla zvolena na základě průzkumu řešení ostatních týmů Formula Student a rozhodovací analýzy. Konstrukční řešení ostatních týmů bylo uvažováno spíše orientačně, při výběru měly větší váhu výsledky rozhodovací analýzy.

Bylo vybráno použití dvou servomotorů jako hnacích členů. Ty budou umístěny v krajních výztužích hlavního profilu, na každé straně jeden servomotor. Pohyb klapky bude spřažen pomocí kloubových šestičlenných mechanismů, umístěných na vnějších stranách bočnic, aby nerušili proudění vzduchu přes klapky a nesnižovali účinné rozpětí křídla.

8 Vlastní návrh DRS

Pro návrh zvoleného DRS je třeba vypočítat polohu osy rotace klapky tak, aby byly splněny všechny výše uvedené požadavky. Poté je třeba zvolit vhodný servomotor s dostatečně velkým točivým momentem a co největší rychlostí otáčení, aby byl schopný otevřít klapky a to v co nejkratším čase. Poslední fází návrhu je navrhnout kloubový šestičlenný mechanismus. Tím budou spřaženy obě klapky a přenášen točivý moment servomotoru.

8.1 Výpočet polohy osy rotace

Pro výpočet osy rotace klapky bylo využito dat, získaných z CFD simulace. Byla provedena CFD analýza, ze které byly zjištěny reakce ve dvou podporách. Simulace byla provedena pro rychlost vozu $v = 112 \text{ km/h}$, na křídle s klapkami v normální poloze (zavřeno). Tato data byla převzata od kolegy, který se zabývá CFD simulacemi aeropaketu vozu. Simulace byla provedena na profilu S1223 o délce profilu $b = 10 \text{ mm}$ a délce tětivy $L = 200 \text{ mm}$. Pro výpočet sil působících na klapku o celkové délce $B = 900 \text{ mm}$ bylo použito idealizace v podobě linearizace průběhu působících sil po celé délce klapky.

Rychlost, pro kterou byla simulace provedena, byla spočtena:

$$v = v_p + v_z + v_b + v_v \quad 8.1.1$$

kde:

- v – [km/h] – Celková výpočtová rychlost
- v_p – 60 [km/h] – Průměrná rychlost průjezdu zatáčkou
- v_z – 6 [km/h] – Předpokládané 10% zvýšení u nového vozu
- v_b – 10 [km/h] – Bezpečnostní navýšení rychlosti
- v_v – 10 [m/s] – Rychlost větru

Vstupní hodnoty:

- R_{Ax1} – 30,6[N] – Reakční síla ve směru osy x v bodě A klapky 1
- R_{Az1} – 6,12[N] – Reakce ve směru osy z v bodě A klapky 1
- R_{Bx1} – 338,22[N] – Reakce ve směru osy x v bodě B klapky 1
- R_{Bz1} – 646,2[N] – Reakce ve směru osy z v bodě B klapky 1
- R_{Ax2} – 25,83[N] – Reakce ve směru osy x v bodě A klapky 2
- R_{Az2} – 82,53[N] – Reakce ve směru osy z v bodě A klapky 2
- R_{Bx2} – 470,79[N] – Reakce ve směru osy x v bodě B klapky 2
- R_{Bz2} – 247,41[N] – Reakce ve směru osy z v bodě B klapky 2
- l – 50[mm] – Vzdálenost podpor
- β_1 – 21[°] – Úhel sklonu výpočtového modelu klapky 1
- β_2 – 51[°] – Úhle sklonu výpočtového modelu klapky 2

Zkratky použité pro výpočet:

- F_x – [N] – Složka aerodynamické síly ve směru osy x
- F_z – [N] – Složka aerodynamické síly ve směru osy z
- F – [N] – Celková aerodynamická síla
- M – [Nm] – Točivý moment od aerodynamické síly
- $M_{potř}$ – [Nm] – Točivý moment potřebný k uvedení klapky do statické rovnováhy
- x – [mm] – Vzdálenost působišť aerodynamických sil od bodu A
- h – [mm] – Vzdálenost od působišť aerodynamických sil ke středu rotace klapky
- R_{Px} – [N] – Reakce ve směru osy x ve středu rotace klapky
- R_{Pz} – [N] – Reakce ve směru osy z ve středu rotace klapky

Pro simulaci byly do každé klapky umístěny dva pevné body (1D mesh). V těchto bodech byly odečteny složky reakčních sil. Bylo vytvořeno výpočtové schéma. Pro tento staticky určitý nosník byly napsány podmínky statické rovnováhy:

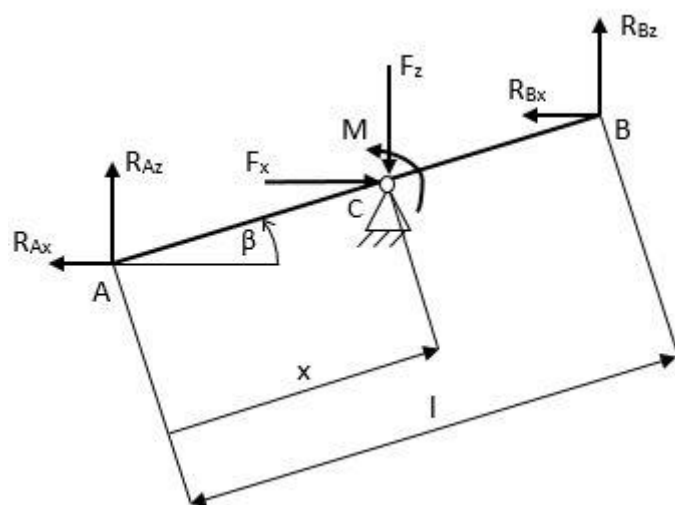
$$\sum F_{ix} = 0: F_x - R_{Bx} - R_{Ax} = 0 \quad 8.1.2$$

$$\sum F_{iz} = 0: R_{Az} + R_{Bz} - F_z = 0 \quad 8.1.3$$

$$\sum M_{iA} = 0: R_{Bx} \cdot l \cdot \sin \beta + R_{Bz} \cdot l \cdot \cos \beta - F_x \cdot x \cdot \sin \beta - F_z \cdot x \cdot \cos \beta + M = 0 \quad 8.1.4$$

$M = 0 \Rightarrow$ působíště aerodynamické síly F

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2} \quad 8.1.5$$



Obr. 22 Výpočtový model působíště aerodynamické síly

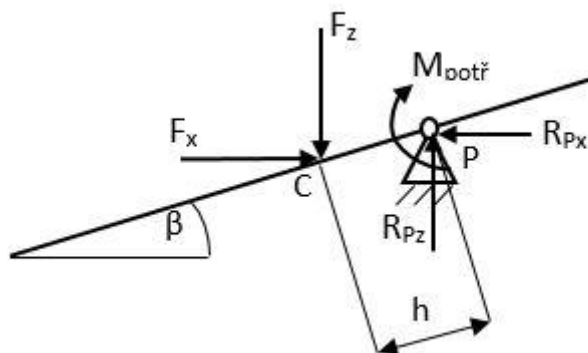
Z těchto podmínek rovnováhy byly dopočteny složky aerodynamické síly F a také poloha působíště x této síly. Působíště a velikost síly F se mění s úhlem natočení klapky. Maximální síla působí na klapky v zavřené poloze. Pro první klapku s úhlem natočení $\alpha = 30^\circ$ byla spočtena aerodynamická síla $F_1 = 749,4 \text{ N}$ ve vzdálenosti $x_1 = 48,87 \text{ mm}$ od bodu A. Pro druhou klapku s úhlem natočení $\alpha = 60^\circ$ byla spočtena síla $F_2 = 596,2 \text{ N}$ ve vzdálenosti $x_2 = 43,93 \text{ mm}$ od bodu A.

Je požadováno, aby klapky z důvodu bezpečnosti byly působením síly F zavírány. Osu rotace je tedy třeba posunout o vzdálenost h od působíště aerodynamické síly, směrem dál od náběžné hrany. Tím vznikne moment, který klapky drží v pozici zavřeno. Pro výpočet momentu potřebného pro uvedení do statické rovnováhy při posunutí osy rotace o vzdálenost h , byly napsány podmínky statické rovnováhy:

$$\sum F_{ix} = 0: F_x - R_{Px} = 0 \quad 8.1.6$$

$$\sum F_{iz} = 0: R_{Pz} - F_z = 0 \quad 8.1.7$$

$$\sum M_{iD} = 0: F_x \cdot h \cdot \sin \beta - F_z \cdot h \cdot \cos \beta - M = 0 \quad 8.1.8$$



Obr. 23 Výpočtový model polohy osy rotace

Z důvodu jednoduchosti výroby a snadné vyměnitelnosti by bylo vhodné, aby obě klapky měly osu rotace ve stejné vzdálenosti od náběžné hrany. Z důvodu velkého rozdílu polohy působí sil by však na druhé klapce bylo třeba příliš veliký moment pro uvedení do rovnováhy a to přibližně $M = 4,4 \text{ Nm}$, při vzdálenosti osy rotace $72,6 \text{ mm}$ od náběžné hrany. To je mimo možnosti servomotorů, které jsou běžně dostupné a používané na podobné aplikace. Z tohoto důvodu bude každá klapka mít osu rotace v jiné vzdálenosti.

Nejprve bylo třeba zjistit, v jakém rozmezí délek ramene h je možno se pohybovat. Jako maximální potřebný moment pro uvedení do rovnováhy jedné klapky byla stanovena hranice $M = 1,5 \text{ Nm}$. Z výše uvedených vztahů lze tedy dopočítat, že pro první klapku je maximální velikost ramene $h_1 = 2 \text{ mm}$ a pro druhou klapku $h_2 = 2,5 \text{ mm}$. Vzhledem k zaručení funkčnosti DRS a bezpečnosti byly zkráceny délky ramene na $h_1 = 1,8 \text{ mm}$ a $h_2 = 2,2 \text{ mm}$. Těmto délkám ramene h odpovídá stejný moment potřebný pro uvedení do statické rovnováhy jedné klapky $M_{potř} = 1,3 \text{ Nm}$

Vzdálenost bodu A od náběžné hrany je $n_1 = 21,74 \text{ mm}$ a $n_2 = 21,61 \text{ mm}$. S ohledem na splnění podmínky pasivního zavírání klapky byla poloha osy rotace zvolena:

	Vzdálenost od náběžné hrany [mm]	$M_{potř}$ [Nm]
Klapka 1	71,745	1,3
Klapka 2	67,176	1,3

Tab. 7 Vzdálenost osy rotace klapky od náběžné hrany a moment potřebný pro otevření klapky

Z toho vyplývá, že celkový moment potřebný na otevření klapky křídla do polohy DRS musí být větší než $M_{Cpotř} = 2,6 \text{ Nm}$. To mají za úkol dva servomotory, které budou voleny s ohledem na tyto spočtené hodnoty.

8.2 Volba servomotoru

Volba vhodného servomotoru je jedním z hlavních kritérií, které mají významný vliv na funkčnost celého DRS. Je nutné zvolit digitálně řízený servomotor, protože jeho elektronika obsahuje procesor, který umožňuje ovlivnit některé parametry servomotoru. Díky procesoru lze ovlivnit např.: směr otáčení, polohu natočení při výpadku signálu, rychlost otáčení atd. Je nutné zvolit servomotor s dostatečným momentem [$\text{kg} \cdot \text{cm}$] pro otevření klapky a v neposlední řadě s co nejvyšší rychlostí [$\text{s}/60^\circ$]. Vzhledem k relativně velkým momentům je také důležité, aby servomotor vydržel tuto zátěž. Proto je třeba volit servomotor s kovovým převodovým ústrojím a kuličkovými ložisky. Dalšími významnými požadavky jsou také co nejnižší hmotnost a cena.

Z elektrotechnického hlediska byl požadavek, aby servomotor pracoval při napětí $U = 7,4[V]$, aby bylo kompatibilní s elektroinstalací vozu.

8.2.1 Výběr nejvhodnějšího servomotoru

Výběr byl proveden na základě průzkumu trhu dostupných servomotorů (viz.: tabulka níže) a konzultace s profesionálním modelářem z firmy MaxModel. Výběr byl proveden z celokovových digitálních servomotorů, na základě výše zmíněných požadavků.

Servomotor	Rozměry [mm]	Hmotnost [g]	Cena [Kč]	Moment [Nm] (pro 7,4V)	Rychlost [sec/60°] (pro 7,4V)
KST DS725MG	40,5x20x37	70,00	1299	1,6	0,08
KST BLS915HV	40,5x20x37	72,00	1899	1,8	0,075
J3D13T	35,5x15x28,6	39,70	3290	1,3	0,14
J4A18.5T	40x20x38,8	74,00	5990	1,85	0,08
MKS HV 747	30x10x35.5	27,85	2729	1,38	0,14

Tab. 8 Parametry nalezených vhodných servomotorů [3] [13] [14]

Servomotor bude umístěn v hlavním profilu křídla, které svými rozměry nijak neomezuje výběr z hlediska velikosti servomotoru. Hmotnost je velmi důležitým parametrem, avšak z tabulky je patrné, že servomotory s momentem větším než $1,6 Nm$ se liší jen málo. Nejdůležitějšími parametry jsou moment a rychlost otáčení, kterou je servomotor schopen vyvinout. Z výsledků spočtených při určení osy rotace vyplývá, že je zapotřebí vyvinout moment větší než $2,6 Nm$ pomocí dvou servomotorů, jejichž momenty se sčítají. Pro zajištění určité rezervy bylo zvoleno použití servomotoru s větším momentem. Rychlost otáčení hřídele servomotoru je zcela zásadní. Umožní rychleji přepnout mezi stavy normální/DRS a tím lépe a déle využít snížení odporu pomocí DRS. Posledním, avšak neméně důležitým hlediskem je cena.

Při porovnání všech parametrů, podle výše zmíněných kritérií, jako nejlepší volba vyšlo servo KST BLS915HV. Je schopné vyvinout dostatečně velký moment a uváděná rychlost otáčení je nejvyšší mezi porovnávanými servomotory. Servo J4A18.5T má velice podobné parametry, které by také vyhovovaly této aplikaci, avšak zvolené servo KST BLS915HV je o dvě třetiny levnější.



Obr. 24 Servomotor KST BLS915HV [3]

Servomotor	Rozměry [mm]	Hmotnost [g]	Cena [Kč]	Moment [Nm] (7,4V)	Rychlost [sec/60°] (7,4V)
KST BLS915HV	40,5x20x37	72,00	1899	1,8	0,075

Tab. 9 Základní parametry servomotoru KST BLS915HV [3]

Všechny parametry servomotoru jsou dostupné v katalogu, viz [3].

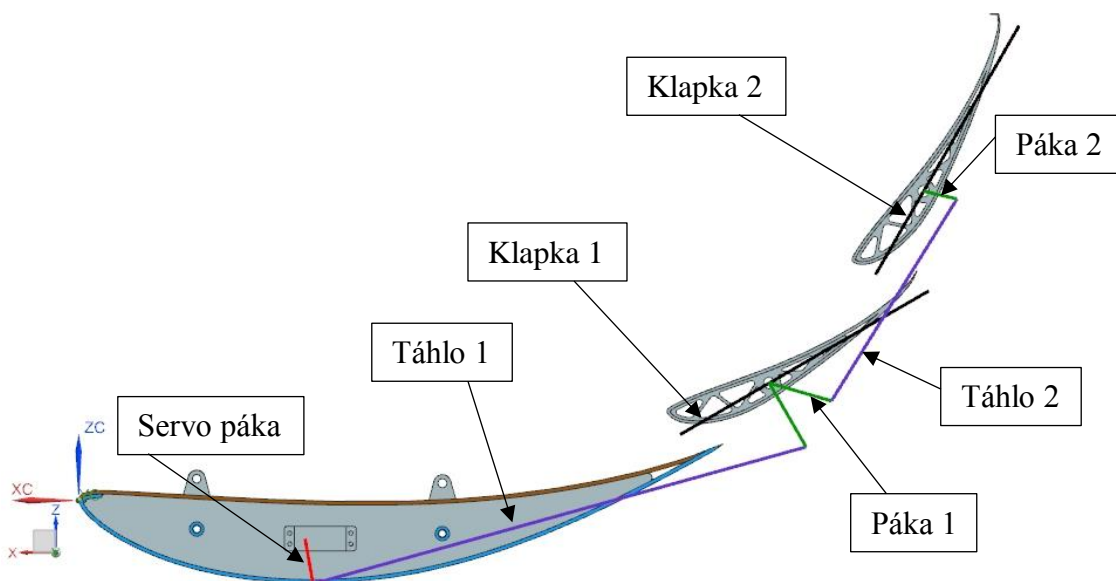
8.3 Návrh kloubového mechanismu

Úkolem je navrhnout šestičlenný kloubový mechanismus, který umožní natáčet obě klapky současně a o různý úhel. Klapku 1 je třeba natočit o úhel $\alpha_1 = -30^\circ$, klapku 2 o úhel $\alpha_2 = -60^\circ$ tedy tak, aby měli při aktivovaném DRS úhel náběhu $\alpha_{DRS} = 0^\circ$. Při úhlu náběhu 0° mají klapky minimální součinitel odporu C_x , viz kapitola 6.1.

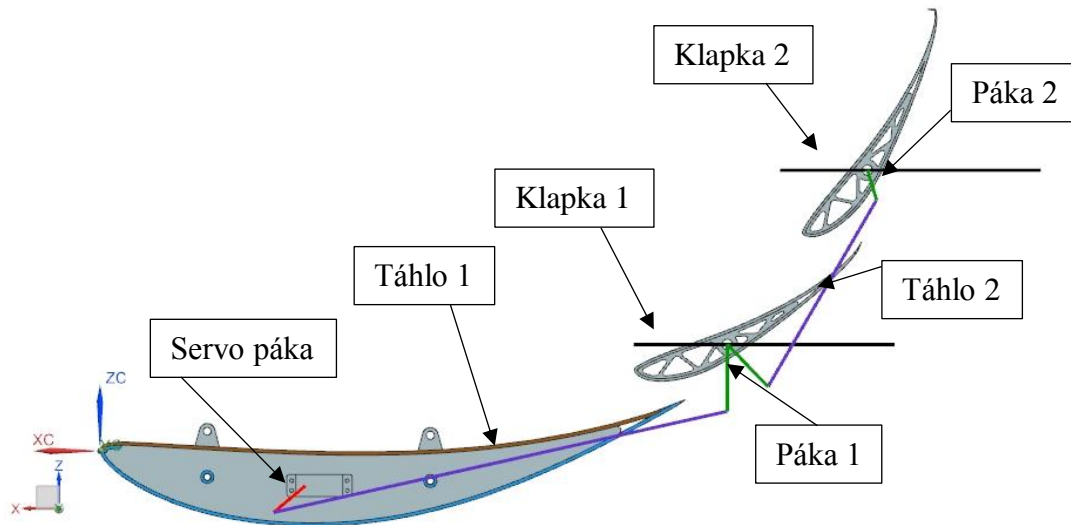
Protože jsou páky umístěny z vnější strany křídla, nemůže dojít ke kolizi klapky s táhlem kloubového mechanismu. Toto uspořádání také umožňuje páky otočit směrem „dolů“ a tím snížit těžiště. Jednou ze zásad bylo, aby v žádné z poloh nesvíralo táhlo s pákou velké, tupé úhly ($>140^\circ$) a to z důvodu lepšího přenosu sil. Délka hnací páky servomotoru byla volena dle dostupných vyráběných servo pák. Hnací páka bude koupěna, aby byla zaručena kompatibilita s hřídelí servomotoru. Páky klapek budou vyříznuty z plechu z hliníku EN AW 7075 vodním paprskem.

Mechanismus bude konstruován tak, aby pro natočení klapek do polohy DRS (úhel náběhu 0°) bylo třeba otočit hnací páku servomotoru o 60° . Byl zvolen takto malý úhel natočení hnací páky, protože je třeba natočit klapky v co nejkratším čase, aby bylo možno využít efekt DRS na co nejdelší dráze. Zvolený servomotor má rychlost otáčení $0,075 \text{ sec}/60^\circ$.

Návrh kloubového mechanismu byl proveden graficky ve 2D skice pomocí softwaru Siemens NX 11. Danými parametry bylo umístění klapek, z návrhu zadního křídla od týmového kolegy z UWB Racing. Ze známé polohy klapek vyplývá i poloha středu rotace klapek, spočtena viz kapitola 8.1. Servomotor byl umístěn mezi trubky vyztužující hlavní profil, aby byla zajištěna dostatečná tuhost a minimální deformace. Z katalogu byla vybraná páka servomotoru kompatibilní se zvoleným servomotorem s roztečí otvorů 32mm. Rozměry pák na klapkách a táhel byly voleny tak, aby byly splněny všechny výše uvedené požadavky.



Obr. 25 Schéma navrženého mechanismu v měřítku v normální poloze

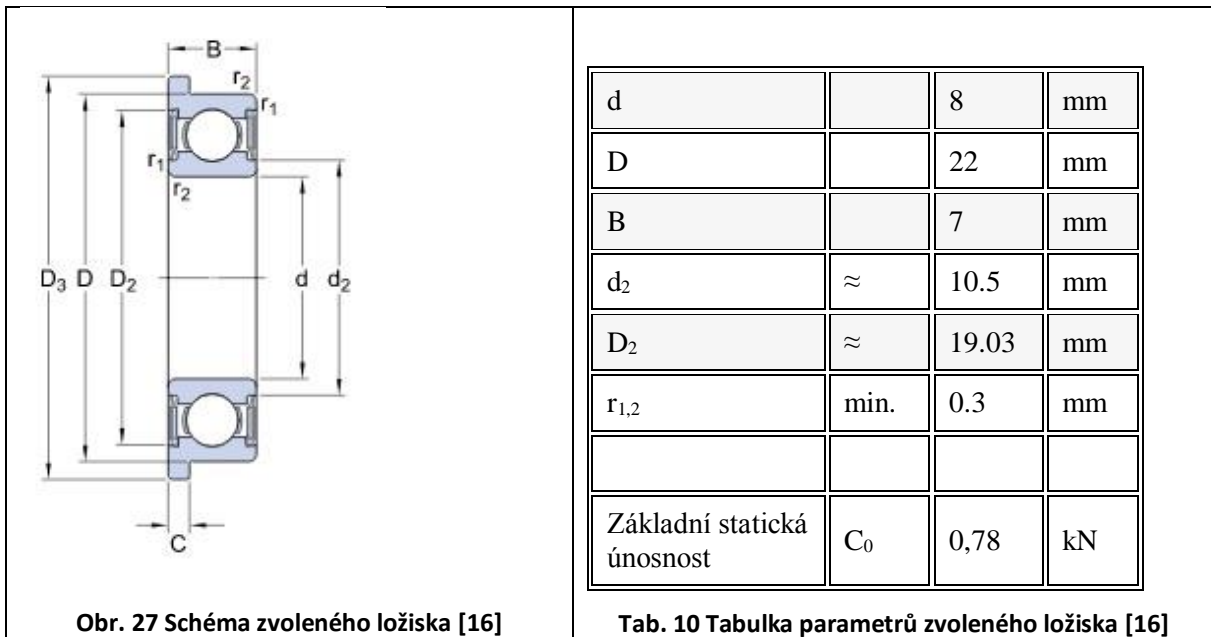


Obr. 26 Schéma navrženého mechanismu v měřítku v poloze DRS

8.4 Volba ložiska

Vzhledem k velké zátěži od aerodynamických sil a požadavku na minimální tření bylo zvoleno použití valivých ložisek pro uložení klapky v bočnici. Je třeba zvolit co nejúžší a nejlehčí ložisko, proto bylo vybráno jednořadé. Ložisko bude vlepáno do otvoru v bočnici křídla, proto bylo požadováno ložisko s osazeným vnějším kroužkem. Aby nedocházelo k zanesení ložiska, je vhodné zvolit zakryté ložisko. Maximální síla působí na klapku 1 a to přibližně $F_l = 750 \text{ N}$.

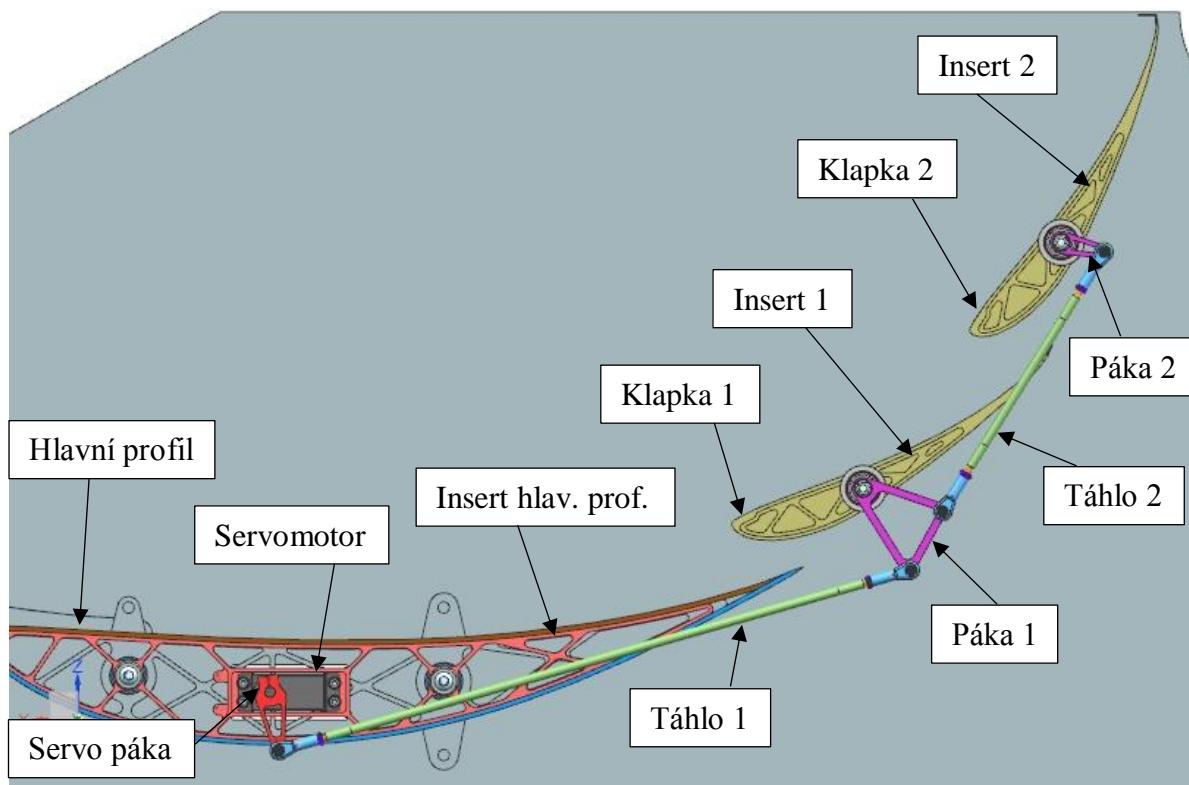
S ohledem na požadavky bylo zvoleno ložisko SKF W 608 R-2RS1. Ložiska budou namáhána staticky, musí tedy být splněna podmínka, že statická únosnost ložiska je větší, než maximální zátěžná síla.



9 Vypracování CAD modelu a základní dokumentace DRS

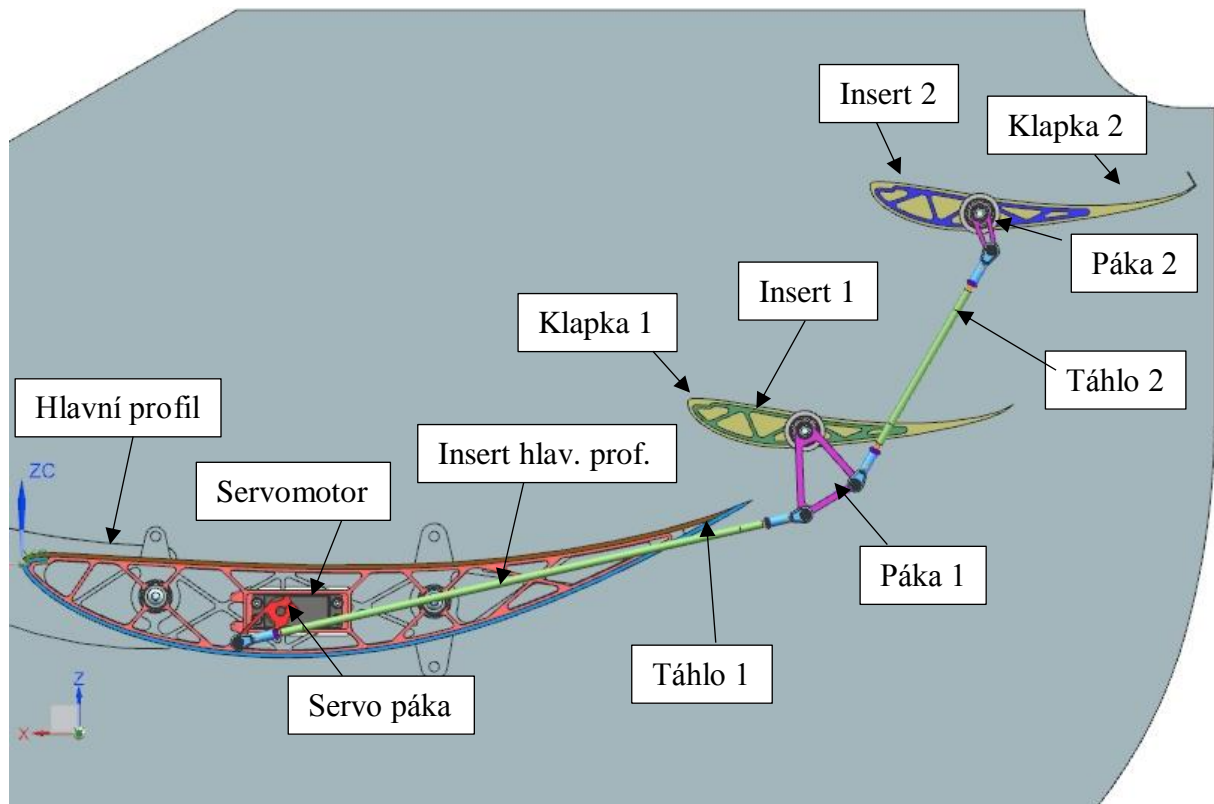
CAD model byl vypracován v softwaru Siemens NX 11. Model zadního křídla byl převzat od kolegy, který se zabýval návrhem aeropaketu vozu. Úkolem bylo zkonstruovat vybraný systém DRS se začleněním do sestavy zadního křídla tak, aby vyhovoval všem výše uvedeným požadavkům. Funkční parametry kloubového mechanismu byly převzaty ze schematickeho návrhu v měřítku, viz kapitola 8.3.

Výkresová dokumentace je součástí volně vložené přílohy.



Obr. 28 CAD model navrženého DRS v normální poloze

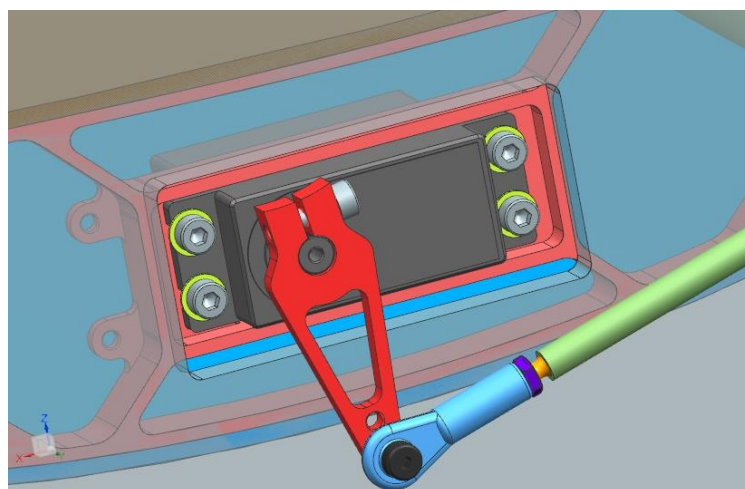
Na obrázku 28 je vidět model navrženého systému DRS se zavřenými klapkami (normální poloha). Pro lepší přehlednost byla levá bočnice zneviditelněna.



Obr. 29 CAD model navrženého DRS v poloze DRS

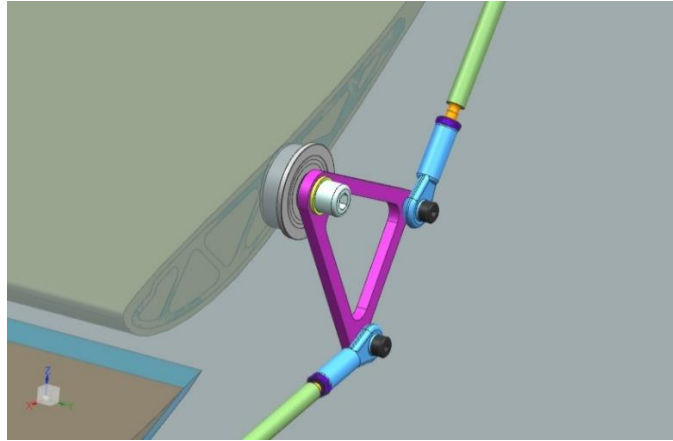
Na obrázku 29 je vidět model navrženého systému DRS s otevřenými klapkami, v tzv. DRS poloze. Pro lepší přehlednost byla levá bočnice zneviditelněna.

9.1 Detail konstrukčních uzlů



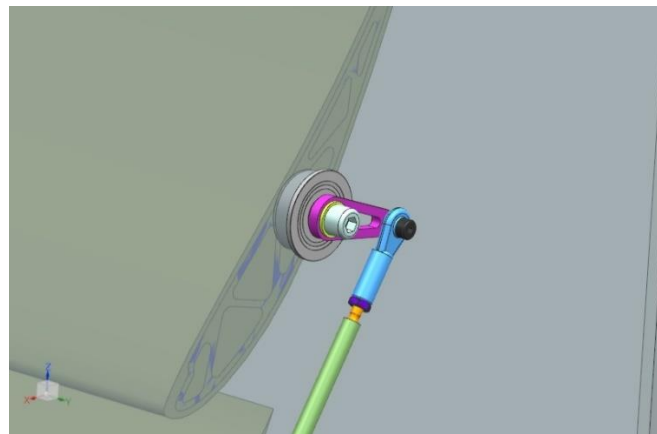
Obr. 30 Uchycení servomotoru

Servomotor je přišroubován čtyřmi šrouby k insertu hlavního profilu křídla. Páka servomotoru je nasazena na drážkovaný hřídel servomotoru a pojištěna svěrným spojem.

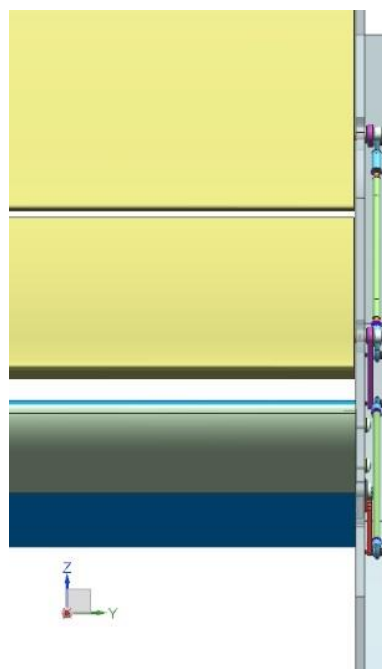


Obr. 31 Uložení klapky 1 v bočnici

Páky jsou propojeny táhly, která jsou na koncích opatřena kulovými čepy. Rozteč táhel je možno upravit díky vlepěným závitovým vložkám, které spojující trubku táhla s kulovými čepy.



Obr. 32 Uložení klapky 2 v bočnici



Obr. 33 Pohled zepředu na kloubový mechanismus

Žádná část zadního křídla, tedy ani kloubového mechanismu, nesmí být širší než rozměr mezi vnitřními stranami zadních pneumatik měřených ve výšce osy náboje. [4]

10 Ovládání DRS

Ovládání systému DRS by mělo být navrženo tak, aby co nejméně zatěžovalo řidiče a eliminovalo možnost nechtěné, nebo příliš dlouhé aktivace. Je tedy třeba vyvinout vhodné kontrolní metody a schémata ovládání.

Okruh závodu typu endurance může mít různé charaktery. Může být pomalý se složitými technickými prvky, nebo se skládat z dlouhých rovinných úseků a táhlých zatáček, kde bude uplatnění DRS výraznější.

10.1 Schéma ovládání

Je nutno definovat, kdy a jakým způsobem bude možné DRS aktivovat/deaktivovat. Bylo navrženo pět režimů, mezi kterými bude možno před závodem zvolit způsob fungování DRS, a to podle typu závodu a volby řidiče. Režim bude nastaven pomocí pěti polohového přepínače.

Byly zvoleny režimy:

- Vypnuto
- Zapnuto
- Manuální ovládání
- Automatické ovládání, dané podmínkami (volant do 10° , rychlost > 14 m/s)
- Automatické ovládání, dané polohou GPS

Z důvodu bezpečnosti, kromě pevně daných režimů vypnuto a zapnuto, budou při stlačení brzdového pedálu klapky nastaveny do normální (zavřené) polohy.

10.1.1 Režim Vypnuto

Tzv. normální poloha, kdy jsou klapky natočeny pod takovým úhlem, který vytváří maximální přítlak křídla ($C_L = \max$).

10.1.2 Režim Zapnuto

Tzv. DRS poloha, kdy jsou klapky natočeny pod takovým úhlem, který vytváří minimální odpor křídla ($C_x = \min$) a umožňuje dosáhnout vyšší maximální rychlosti.

10.1.3 Režim Manuál

V tomto režimu je DRS aktivováno/deaktivováno dle uvážení řidiče. DRS je možno aktivovat současným stlačením dvou tlačítek na volantu vozu. Použití dvou tlačítek eliminuje možnost nechtěného spuštění. Pokud nejsou obě tlačítka stlačena současně, vrací se klapky zpět do normální polohy.

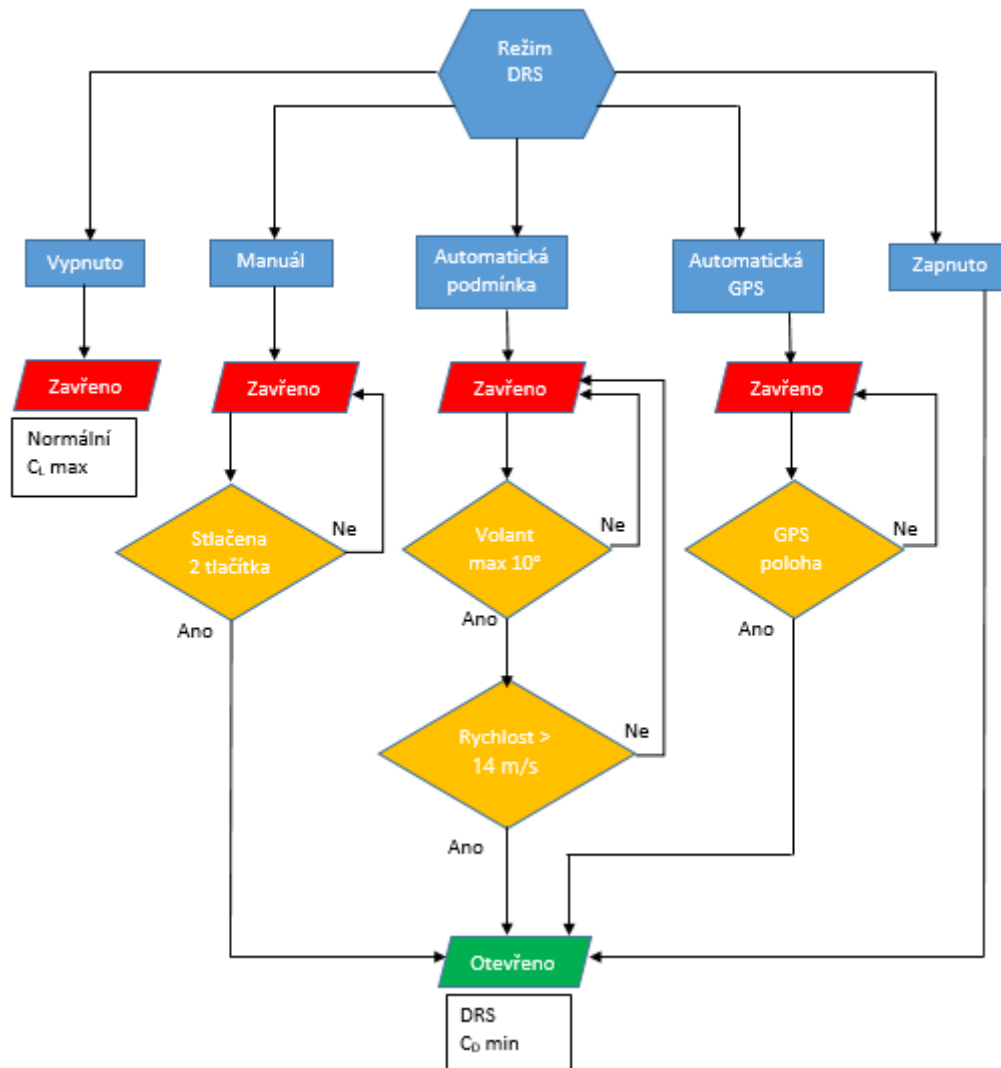
10.1.4 Režim Automatická podmínka

Aktivace/deaktivace DRS je automatická na základě vyhodnocení parametrů ze senzorů na voze. Byly zvoleny základní parametry:

- volant pod úhlem do 10° od polohy rovně
- rychlost > 14 m/s

10.1.5 Režim Automatická GPS

DRS se aktivuje/deaktivuje na základě GPS souřadnic, které budou vybrány pro konkrétní trať závodu. Bude třeba před závodem trať zmapovat, vyhodnotit kde má dojít k aktivaci/deaktivaci DRS a data nahrát do procesoru.



Obr. 34 Vývojový diagram ovládání DRS

11 Cost report zadního křídla

Cílem cost reportu je vyhodnocení ekonomických nákladů na výrobu. Jedná se o soupis dílů použitých při výrobě vozu a jejich cenu. Podle pravidel soutěže Formula Student jsou podle těchto zpráv počítány náklady pro sériovou výrobu 1000ks. Zhotovení Cost reportu celého vozu je podmínkou pro účast na závodech a jejich pozdní odevzdání je penalizováno ztrátou bodů. Ceny jsou přiřazeny dle oficiálních tabulek Formula Student [18]. Ceny normalizovaných a často používaných dílů (ložiska, šrouby, kulové čepy...) jsou počítány dle charakteristického rozměru, přímo v tabulkách pro konkrétní ročník soutěže Formula Student. Ostatní díly jsou ceněny jako vyráběné. Aby bylo možné jednotlivé ceny aut během závodu mezi sebou porovnat, jsou definované jednotkové ceny za materiál, obrábění, povrchové úpravy, spojovací materiál atd. V cost reportu musí být oceněna jak výroba tak i montáž dílů. Během závodu jsou náhodně vybrány dvě sestavy, které jsou kontrolovány.

Úkolem bylo provést ekonomické vyhodnocení nákladů na výrobu jednoho kusu zadního křídla s DRS a uchycovacími prvky viz příloha číslo 5. Jelikož se jedná o mezinárodní soutěž, byla zpráva psána v anglickém jazyce. Cost report zadního křídla byl proveden pro sestavu jednoho zadního křídla. Přepočtení ceny pro sériovou výrobu 1000ks celého vozu byl proveden týmovým kolegou na základě dílčích zpráv provedených pro výrobu jednoho vozu.

Celková hodnota zadního přitlačného křídla je \$1065,83. Nejdražšími částmi jsou laminované díly, jako profily křídel a bočnice vyrobené z prepregu Carbon GG200 (uhlíková netkaná vlákna napuštěna ideálním množstvím pryskyřice). Cena tohoto materiálu je \$200 za jeden metr čtverečný.

12 Závěr

Není tomu tak dlouho, kdy aerodynamické prvky u vozů Formula student byly opomíjeny, především pro relativně nízké průměrné rychlosti na dráze. Ovšem i zde, stejně jako u ostatních automobilových závodů, našly své uplatnění. Využitím přítláčné síly, kterou produkují aerodynamické prvky vozu, jsou zvyšovány obvodové a boční síly působící na kola, aniž by byla navýšena hmotnost vozu. To v praxi umožňuje rychlejší průjezd zatáček. Většina aerodynamických prvků, jako jsou přítláčná křídla, však sebou nesou i zvýšení aerodynamického odporu, který musí vozidlo překonat. Obě tyto síly, jak přítlak tak odpor, jsou přímo úměrné druhé mocnině rychlosti. Při návrhu aeropaketu je proto obecně snahou využít co největšího přítlaku a minimalizovat odporové síly. Právě ke snížení odporových sil se využívá aktivních aerodynamických prvků systému DRS. Ty po aktivaci otočí klapky přítláčného křídla na úhel náběhu s minimálním součinitelem aerodynamického odporu C_x a zároveň tím zmenší čelní plochu vozu, což má za následek zmenšení odporu a umožní vozu dosáhnout vyšší maximální rychlosti. Otevření klapek křídla sebou však nese i nežádoucí snížení přítlaku, proto je vhodné DRS aktivovat na rovných úsecích trati, kde není třeba přenášet velké boční přetížení.

Cílem této práce bylo navrhnout systém DRS pro vůz UWB04 splňující všechna pravidla soutěže Formula Student. Dalšími požadavky byly nízká hmotnost, jednoduchost konstrukce a výroby a také bezpečnost. Požadavek na bezpečnost spočívá především v tom, že aerodynamická síla působící na klapky je musí uzavírat, aby nemohlo dojít k samovolnému otevření klapek při poruše DRS. Podle tohoto požadavku byla spočtena poloha osy rotace klapek. Z dat převzatých od kolegy, který se zabývá CFD simulacemi aeropaketu vozu, bylo aplikací statických podmínek rovnováhy nejprve zjištěno působíště aerodynamických sil na klapku. Poté byla poloha osy rotace klapky posunuta za působíště sil, směrem dál od náběžné hrany a spočten moment potřebný pro uvedení do statické rovnováhy.

Z dat získaných z provedené dojezdové zkoušky a dat ze závodu v Maďarsku byl vypočten přínos použití systému DRS. Bylo zjištěno, že použitím DRS při závodě typu endurance na trati v Maďarsku by bylo možno ušetřit čas o 1,156s.

Před vlastním návrhem systému DRS byla provedena rešerše používaných konstrukčních řešení u vozů Formula Student. Z té vyplynuly tři nejpoužívanější varianty: přímé elektronické, elektro-mechanické a pneumatické ovládání systému DRS. Na základě této rešerše byl proveden návrh čtyř konstrukčních řešení. Z těchto bylo pomocí rozhodovací analýzy vybráno nejvhodnější řešení. Z morfologické analýzy vyplynulo, že nejvhodnější variantou pro čtyřprvkové křídlo se dvěma ovládanými klapkami, je použití dvou servomotorů jako hnacích členů. Ty jsou umístěny v krajních výztužích hlavního profilu, na každé straně jeden servomotor. Pohyb klapek je spřažen pomocí kloubových šestičlenných mechanismů umístěných na vnějších stranách bočnic, aby nerušily proudění vzduchu přes klapky a nesnižovaly účinné rozpětí křídla. Ze spočteného momentu potřebného pro uvedení do rovnováhy byl vybrán nejvhodnější servomotor KST BLS915HV s točivým momentem 1,8 Nm a rychlostí otáčení hřídele 0,075 s/60°. Při použití dvou servomotorů vyvinou točivý moment 3,4Nm, což je víc než spočtený potřebný moment pro otevření obou klapek 2,6Nm. Poté byl navržen kloubový mechanismus tak, aby při otočení páky servomotoru o 60° byly klapky natočeny pod úhlem náběhu 0°. Z toho vyplývá, že první klapka se musí pootočit o -30° a druhá o -60°. Poté byl vypracován CAD model zvolené varianty s ohledem na pravidla Formula Student a všechny kladené požadavky. Nakonec byl proveden návrh ovládání systému DRS pro několik možných režimů. Po zjištění ekonomických nákladů byl proveden tzv. cost report.

13 Zdroje

- [1] CTU CarTech. Facebook.com/ctucartech [online]. 2016 [cit. 2016-12-19]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/ctucartech/photos>
- [2] Aerodynamic center. Grc.nasa.gov/WWW/Wright/airplane [online]. 2014 [cit. 2016-12-19]. Dostupné z: <https://www.grc.nasa.gov/WWW/Wright/airplane/ac.html>
- [3] Servo KST BLS915HV. Horejsi.cz [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.horejsi.cz/Pages/DetailProdukt.aspx?objcislo=3006>
- [4] Formula SAE Rules. Fsaonline.com [online]. 2016 [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <http://www.fsaonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%209.2.16a.pdf>
- [5] MERKEL, James Patrick. *Development Of Multi-Element Active Aerodynamics For The Formula Sae Car*. Texas, 2013. The University of Texas at Arlington.
- [6] TRZESNIEWSKI, Michael. *Rennwagentchnik: Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme*. Wiesbaden: Vieweg Teubner, 2008. ISBN 978-383-4804-846. Aerodynamický přítlak. Autotrip.cz [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://autotrip.cz/jak-funguje-aerodynamicky-pritlak/>
- [7] Diffuser. Composites.antonine.net [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://composites.antonine.net/diffuser/>
- [8] Stabilita. Airspace.cz [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.airspace.cz/akademie/rocnik/2010/09/stabilita.php>
- [9] Bernoulliho rovnice. Veda-hrou.cz [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.veda-hrou.cz/cms/46-proc-leti-letadlo.html>
- [10] Kruhové válce DSNU. In: Festo.com [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: https://www.festo.com/cms/cs_cz/15869.htm
- [11] J4A18.5T High-Speed Brushless Servo. Jetimodel.com [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.jetimodel.com/cs/katalog/Serva/@produkt/J4A18-5T-High-Speed-Brushless-Servo/>
- [12] S1223 Xfoil prediction polar. Airfoiltools.com [online]. [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: <http://airfoiltools.com/polar/details?polar=xf-s1223-il-500000>
- [13] Serva. Jetimodel.com [online]. [cit. 2017-06-02]. Dostupné z: <http://www.jetimodel.com/cs/katalog/Serva/>
- [14] Servo MKS HV747. Mksservosusa.com [online]. [cit. 2017-06-02]. Dostupné z: <http://www.mksservosusa.com/product.php?productid=157&cat=5&page=1>
- [15] History of Formula SAE. Fsaonline.com [online]. [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <https://www.fsaonline.com/page.aspx?pageid=c4c5195a-60c0-46aa-acbf-2958ef545b72>
- [16] Kuličková ložiska, jednořadá. Skf.com [online]. [cit. 2017-06-01]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=W%20608%20R-2RS1>
- [17] KATZ, Joseph. *Race Car Aerodynamics: Designing for Speed*. Cambridge USA: Bentley Publishers, 1995. ISBN 0837601428.
- [18] Downloads for 2017 Competition Season. Fsaonline.com [online]. [cit. 2017-06-08]. Dostupné z: <https://www.fsaonline.com/page.aspx?pageid=5ade9b01-8903-4ae1-89e1-489a8a4f08d9>

14 Seznam příloh

- Příloha č.1 - Výpis hodnot dojezdové zkoušky
- Příloha č.2 - Výpis hodnot závodu Akcelerace
- Příloha č.3 - Průběh odporů
- Příloha č.4 - Skript metody centrovaného zrychlení
- Příloha č.5 - Cost report

PŘÍLOHA č. 1

Výpis naměřených hodnot dojezdové zkoušky vozu UWB03

Normální stav						DRS						Bez Křídla					
Čas [s]	Vzdálenost [m]	Zrychlení [m/s ²]	Rychlost [m/s]	Zrychlení Vypočteno [m/s ²]	Celkový jízdní odpor [N]	Čas [s]	Vzdálenost [m]	Zrychlení [m/s ²]	Rychlost [m/s]	Zrychlení Vypočteno [m/s ²]	Celkový jízdní odpor [N]	Čas [s]	Vzdálenost [m]	Zrychlení [m/s ²]	Rychlost [m/s]	Zrychlení Vypočteno [m/s ²]	Celkový jízdní odpor [N]
0,0	0,00	-2,0202	27,89	-2,0202	-686,7217	0,0	0,00	-1,5200	27,80	-1,5200	-516,8905	0	0	-1,1964	27,78	-1,1964	-399,0032
0,1	2,77	-1,9907	27,70	-1,9956	-678,3796	0,1	2,77	-1,5200	27,66	-1,5067	-512,3759	0,1	2,77	-1,1866	27,66	-1,1881	-396,2220
0,2	5,52	-1,9711	27,50	-1,9713	-670,0959	0,2	5,52	-1,5102	27,51	-1,4922	-507,5077	0,2	5,52	-1,1768	27,55	-1,1802	-393,5841
0,3	8,25	-1,9515	27,28	-1,9437	-660,7119	0,3	8,25	-1,5004	27,36	-1,4775	-502,5235	0,3	8,27	-1,1670	27,44	-1,1723	-390,9569
0,4	10,96	-1,9221	27,11	-1,9230	-653,6919	0,4	10,97	-1,4906	27,21	-1,4632	-497,7091	0,4	11	-1,1670	27,33	-1,1644	-388,3403
0,5	13,65	-1,9025	26,92	-1,8992	-645,5949	0,5	13,68	-1,4710	27,05	-1,4486	-492,7804	0,5	13,72	-1,1670	27,19	-1,1551	-385,2144
0,6	16,32	-1,8829	26,72	-1,8755	-637,5446	0,6	16,37	-1,4514	26,91	-1,4356	-488,3880	0,6	16,43	-1,1572	27,08	-1,1469	-382,4917
0,7	18,98	-1,8535	26,53	-1,8520	-629,5526	0,7	19,05	-1,4318	26,78	-1,4227	-484,0181	0,7	19,13	-1,1474	26,97	-1,1392	-379,9096
0,8	21,61	-1,8338	26,36	-1,8319	-622,7376	0,8	21,71	-1,4220	26,64	-1,4098	-479,6708	0,8	21,81	-1,1376	26,86	-1,1314	-377,3381
0,9	24,23	-1,8142	26,17	-1,8088	-614,8653	0,9	24,36	-1,4024	26,50	-1,3970	-475,3462	0,9	24,49	-1,1180	26,74	-1,1238	-374,7772
1,0	26,83	-1,7946	25,97	-1,7858	-607,0401	1,0	27,00	-1,3827	26,36	-1,3843	-471,0441	1	27,15	-1,1082	26,63	-1,1161	-372,2270
1,1	29,41	-1,7750	25,81	-1,7661	-600,3682	1,1	29,62	-1,3631	26,22	-1,3716	-466,7647	1,1	29,8	-1,0885	26,52	-1,1085	-369,6873
1,2	31,97	-1,7456	25,64	-1,7467	-593,7503	1,2	32,23	-1,3435	26,08	-1,3590	-462,5079	1,2	32,44	-1,0787	26,41	-1,1009	-367,1583
1,3	34,52	-1,7358	25,45	-1,7241	-586,0945	1,3	34,82	-1,3337	25,94	-1,3465	-458,2737	1,3	35,07	-1,0689	26,30	-1,0934	-364,6399
1,4	37,05	-1,7064	25,28	-1,7049	-579,5586	1,4	37,40	-1,3239	25,80	-1,3340	-454,0621	1,4	37,69	-1,0591	26,19	-1,0859	-362,1321
1,5	39,56	-1,6867	25,11	-1,6858	-573,0765	1,5	39,97	-1,3141	25,68	-1,3226	-450,2241	1,5	40,3	-1,0591	26,10	-1,0799	-360,1335
1,6	42,05	-1,6671	24,95	-1,6669	-566,6373	1,6	42,52	-1,3043	25,55	-1,3117	-446,5381	1,6	42,9	-1,0591	25,99	-1,0728	-357,7690
1,7	44,53	-1,6475	24,78	-1,6481	-560,2409	1,7	45,07	-1,2945	25,41	-1,2994	-442,3898	1,7	45,49	-1,0591	25,88	-1,0653	-355,2904
1,8	46,99	-1,6279	24,61	-1,6294	-553,8874	1,8	47,59	-1,2847	25,29	-1,2882	-438,6098	1,8	48,07	-1,0591	25,77	-1,0579	-352,8224
1,9	49,44	-1,6181	24,47	-1,6139	-548,6151	1,9	50,11	-1,2749	25,16	-1,2775	-434,9799	1,9	50,63	-1,0493	25,66	-1,0506	-350,3651
2,0	51,87	-1,6083	24,31	-1,5955	-542,3507	2,0	52,61	-1,2651	25,04	-1,2664	-431,2371	2	53,19	-1,0493	25,57	-1,0447	-348,4068
2,1	54,28	-1,5887	24,14	-1,5771	-536,1187	2,1	55,11	-1,2553	24,91	-1,2558	-427,6432	2,1	55,74	-1,0395	25,47	-1,0378	-346,0902
2,2	56,68	-1,5789	23,97	-1,5589	-529,9296	2,2	57,58	-1,2454	24,79	-1,2448	-423,9377	2,2	58,27	-1,0297	25,36	-1,0305	-343,6621
2,3	59,06	-1,5593	23,83	-1,5438	-524,7945	2,3	60,05	-1,2356	24,66	-1,2342	-420,3797	2,3	60,8	-1,0199	25,24	-1,0232	-341,2445
2,4	61,43	-1,5396	23,67	-1,5259	-518,6942	2,4	62,51	-1,2258	24,54	-1,2234	-416,7115	2,4	63,31	-1,0101	25,16	-1,0174	-339,3181
2,5	63,78	-1,5298	23,50	-1,5080	-512,6266	2,5	64,95	-1,2258	24,41	-1,2130	-413,1895	2,5	65,82	-1,0101	25,05	-1,0106	-337,0394
2,6	66,12	-1,5102	23,36	-1,4932	-507,5930	2,6	67,37	-1,2160	24,29	-1,2022	-409,5586	2,6	68,31	-1,0003	24,96	-1,0049	-335,1278
2,7	68,44	-1,4906	23,22	-1,4785	-502,5992	2,7	69,79	-1,2062	24,18	-1,1929	-406,4030	2,7	70,8	-0,9905	24,86	-0,9981	-332,8667
2,8	70,75	-1,4710	23,06	-1,4610	-496,6559	2,8	72,20	-1,2062	24,05	-1,1826	-402,9330	2,8	73,27	-0,9905	24,74	-0,9910	-330,4969
2,9	73,04	-1,4612	22,92	-1,4465	-491,7177	2,9	74,59	-1,1964	23,93	-1,1720	-399,3559	2,9	75,74	-0,9807	24,66	-0,9853	-328,6088
3,0	75,31	-1,4318	22,78	-1,4321	-486,8192	3,0	76,97	-1,1866	23,81	-1,1628	-396,2474	3	78,19	-0,9807	24,55	-0,9786	-326,3754
3,1	77,58	-1,4122	22,64	-1,4178	-481,9505	3,1	79,34	-1,1768	23,70	-1,1536	-393,1533	3,1	80,64	-0,9807	24,46	-0,9730	-324,5021
3,2	79,83	-1,3925	22,50	-1,4035	-477,1116	3,2	81,70	-1,1670	23,58	-1,1435	-389,7512	3,2	83,07	-0,9709	24,36	-0,9664	-322,2864
3,3	82,07	-1,3827	22,36	-1,3894	-472,3024	3,3	84,05	-1,1572	23,45	-1,1332	-386,2445	3,3	85,5	-0,9709	24,27	-0,9608	-320,4279
3,4	84,29	-1,3729	22,22	-1,3753	-467,5230	3,4	86,38	-1,1572	23,34	-1,1241	-383,1975	3,4	87,92	-0,9611	24,16	-0,9542	-318,2298

3,5	86,50	-1,3631	22,08	-1,3613	-462,7734	3,5	88,70	-1,1474	23,23	-1,1152	-380,1649	3,5	90,32	-0,9611	24,07	-0,9487	-316,3863
3,6	88,69	-1,3533	21,95	-1,3475	-458,0536	3,6	91,02	-1,1376	23,12	-1,1062	-377,1468	3,6	92,72	-0,9611	23,99	-0,9435	-314,6641
3,7	90,87	-1,3435	21,81	-1,3337	-453,3636	3,7	93,32	-1,1376	23,01	-1,0973	-374,1432	3,7	95,11	-0,9512	23,88	-0,9370	-312,4912
3,8	93,04	-1,3337	21,67	-1,3200	-448,7033	3,8	95,61	-1,1278	22,90	-1,0885	-371,1540	3,8	97,49	-0,9512	23,79	-0,9315	-310,6689
3,9	95,19	-1,3141	21,53	-1,3063	-444,0728	3,9	97,88	-1,1180	22,79	-1,0797	-368,1793	3,9	99,86	-0,9414	23,69	-0,9251	-308,5137
4,0	97,33	-1,3043	21,42	-1,2955	-440,3806	4,0	100,15	-1,0983	22,68	-1,0709	-365,2191	4	102,22	-0,9414	23,60	-0,9197	-306,7062
4,1	99,46	-1,2847	21,28	-1,2820	-435,8129	4,1	102,41	-1,0787	22,56	-1,0622	-362,2734	4,1	104,57	-0,9316	23,52	-0,9146	-305,0178
4,2	101,58	-1,2651	21,17	-1,2713	-432,1637	4,2	104,65	-1,0689	22,45	-1,0535	-359,3421	4,2	106,91	-0,9218	23,41	-0,9082	-302,8879
4,3	103,68	-1,2553	21,03	-1,2580	-427,6495	4,3	106,89	-1,0689	22,34	-1,0449	-356,4253	4,3	109,25	-0,9120	23,32	-0,9029	-301,1016
4,4	105,77	-1,2454	20,92	-1,2474	-424,0433	4,4	109,11	-1,0591	22,24	-1,0372	-353,8270	4,4	111,57	-0,9022	23,24	-0,8979	-299,4332
4,5	107,85	-1,2356	20,78	-1,2343	-419,5826	4,5	111,33	-1,0493	22,15	-1,0299	-351,3556	4,5	113,88	-0,8924	23,13	-0,8915	-297,3284
4,6	109,92	-1,2258	20,67	-1,2238	-416,0194	4,6	113,53	-1,0493	22,04	-1,0213	-348,4786	4,6	116,19	-0,8924	23,04	-0,8862	-295,5634
4,7	111,97	-1,2160	20,53	-1,2108	-411,6122	4,7	115,72	-1,0493	21,93	-1,0129	-345,6161	4,7	118,48	-0,8826	22,96	-0,8813	-293,9149
4,8	114,01	-1,1964	20,42	-1,2005	-408,0919	4,8	117,90	-1,0395	21,81	-1,0044	-342,7680	4,8	120,77	-0,8826	22,88	-0,8764	-292,2723
4,9	116,04	-1,1964	20,31	-1,1902	-404,5996	4,9	120,08	-1,0395	21,72	-0,9969	-340,2312	4,9	123,05	-0,8728	22,79	-0,8715	-290,6357
5,0	118,06	-1,1768	20,17	-1,1775	-400,2696	5,0	122,24	-1,0297	21,62	-0,9898	-337,8186	5	125,32	-0,8728	22,71	-0,8666	-289,0051
5,1	120,06	-1,1768	20,06	-1,1673	-396,8115	5,1	124,39	-1,0101	21,51	-0,9815	-335,0104	5,1	127,58	-0,8728	22,63	-0,8617	-287,3805
5,2	122,06	-1,1670	19,95	-1,1572	-393,3811	5,2	126,53	-1,0003	21,41	-0,9740	-332,5092	5,2	129,84	-0,8728	22,52	-0,8556	-285,3312
5,3	124,04	-1,1670	19,83	-1,1472	-389,9697	5,3	128,66	-0,9905	21,31	-0,9670	-330,1307	5,3	132,08	-0,8728	22,43	-0,8504	-283,6129
5,4	126,02	-1,1670	19,72	-1,1372	-386,5774	5,4	130,78	-0,9807	21,22	-0,9597	-327,6522	5,4	134,32	-0,8630	22,35	-0,8456	-282,0082
5,5	127,98	-1,1474	19,61	-1,1273	-383,2042	5,5	132,90	-0,9709	21,12	-0,9527	-325,2953	5,5	136,54	-0,8532	22,27	-0,8408	-280,4094
5,6	129,92	-1,1474	19,47	-1,1150	-379,0228	5,6	135,00	-0,9611	21,02	-0,9454	-322,8395	5,6	138,76	-0,8532	22,18	-0,8360	-278,8166
5,7	131,86	-1,1278	19,36	-1,1051	-375,6841	5,7	137,09	-0,9512	20,93	-0,9385	-320,5042	5,7	140,97	-0,8434	22,10	-0,8313	-277,2298
5,8	133,78	-1,1082	19,25	-1,0954	-372,3728	5,8	139,17	-0,9512	20,83	-0,9313	-318,0711	5,8	143,17	-0,8434	22,02	-0,8265	-275,6490
5,9	135,70	-1,0983	19,14	-1,0857	-369,0805	5,9	141,25	-0,9414	20,74	-0,9253	-316,0410	5,9	145,37	-0,8336	21,93	-0,8218	-274,0741
6,0	137,60	-1,0787	19,03	-1,0761	-365,8073	6,0	143,31	-0,9316	20,65	-0,9185	-313,7367	6	147,55	-0,8336	21,85	-0,8171	-272,5052
6,1	139,50	-1,0591	18,95	-1,0689	-363,3568	6,1	145,37	-0,9218	20,55	-0,9113	-311,3359	6,1	149,73	-0,8238	21,77	-0,8124	-270,9423
6,2	141,38	-1,0493	18,83	-1,0594	-360,1251	6,2	147,41	-0,9120	20,47	-0,9054	-309,3330	6,2	151,9	-0,8238	21,68	-0,8078	-269,3853
6,3	143,25	-1,0395	18,72	-1,0499	-356,9043	6,3	149,45	-0,9120	20,38	-0,8995	-307,3382	6,3	154,06	-0,8140	21,60	-0,8031	-267,8343
6,4	145,11	-1,0297	18,61	-1,0405	-353,7026	6,4	151,48	-0,9120	20,29	-0,8928	-305,0741	6,4	156,21	-0,8140	21,52	-0,7985	-266,2893
6,5	146,97	-1,0297	18,53	-1,0334	-351,3058	6,5	153,50	-0,9022	20,19	-0,8858	-302,7154	6,5	158,35	-0,8041	21,43	-0,7939	-264,7503
6,6	148,81	-1,0199	18,42	-1,0241	-348,1454	6,6	155,51	-0,9022	20,10	-0,8800	-300,7478	6,6	160,49	-0,8041	21,35	-0,7893	-263,2172
6,7	150,64	-1,0199	18,31	-1,0149	-344,9961	6,7	157,51	-0,9022	20,01	-0,8734	-298,5146	6,7	162,61	-0,8041	21,29	-0,7859	-262,0968
6,8	152,46	-1,0101	18,22	-1,0079	-342,6388	6,8	159,50	-0,8924	19,91	-0,8665	-296,1883	6,8	164,74	-0,8041	21,21	-0,7816	-260,6754
6,9	154,27	-1,0003	18,11	-0,9988	-339,5306	6,9	161,48	-0,8826	19,83	-0,8607	-294,2478	6,9	166,85	-0,7943	21,13	-0,7771	-259,1583
7,0	156,08	-0,9905	18,03	-0,9919	-337,1984	7,0	163,46	-0,8826	19,74	-0,8550	-292,3154	7	168,95	-0,7943	21,04	-0,7726	-257,6471
7,1	157,87	-0,9807	17,92	-0,9829	-334,1235	7,1	165,42	-0,8728	19,66	-0,8493	-290,3912	7,1	171,05	-0,7845	20,96	-0,7680	-256,1419
7,2	159,65	-0,9709	17,81	-0,9739	-331,0599	7,2	167,38	-0,8630	19,58	-0,8437	-288,4751	7,2	173,14	-0,7845	20,88	-0,7635	-254,6427
7,3	161,42	-0,9611	17,72	-0,9671	-328,7671	7,3	169,33	-0,8532	19,49	-0,8380	-286,5672	7,3	175,22	-0,7747	20,82	-0,7603	-253,5470
7,4	163,18	-0,9512	17,64	-0,9604	-326,4927	7,4	171,27	-0,8434	19,41	-0,8324	-284,6674	7,4	177,29	-0,7747	20,74	-0,7561	-252,1572
7,5	164,94	-0,9414	17,53	-0,9516	-323,4844	7,5	173,20	-0,8434	19,33	-0,8268	-282,7757	7,5	179,36	-0,7551	20,66	-0,7516	-250,6739

7,6	166,68	-0,9316	17,45	-0,9449	-321,2274	7,6	175,13	-0,8238	19,24	-0,8212	-280,8922	7,6	181,42	-0,7551	20,57	-0,7472	-249,1966
7,7	168,41	-0,9218	17,33	-0,9362	-318,2524	7,7	177,04	-0,8238	19,16	-0,8156	-279,0168	7,7	183,47	-0,7453	20,51	-0,7440	-248,1170
7,8	170,14	-0,9120	17,25	-0,9296	-316,0205	7,8	178,95	-0,8140	19,08	-0,8101	-277,1495	7,8	185,51	-0,7355	20,43	-0,7399	-246,7477
7,9	171,86	-0,9022	17,17	-0,9231	-313,8069	7,9	180,85	-0,8140	18,99	-0,8046	-275,2904	7,9	187,54	-0,7355	20,35	-0,7355	-245,2863
8,0	173,56	-0,9022	17,08	-0,9166	-311,6039	8,0	182,74	-0,8041	18,91	-0,7991	-273,4395	8	189,57	-0,7355	20,29	-0,7323	-244,2184
8,1	175,27	-0,9022	17,00	-0,9102	-309,4117	8,1	184,62	-0,8041	18,83	-0,7937	-271,5966	8,1	191,59	-0,7257	20,21	-0,7282	-242,8639
8,2	176,95	-0,8924	16,89	-0,9017	-306,5126	8,2	186,50	-0,8041	18,74	-0,7882	-269,7619	8,2	193,61	-0,7257	20,13	-0,7239	-241,4184
8,3	178,63	-0,8924	16,81	-0,8953	-304,3381	8,3	188,36	-0,7943	18,66	-0,7828	-267,9354	8,3	195,61	-0,7257	20,07	-0,7207	-240,3622
8,4	180,31	-0,8924	16,72	-0,8889	-302,1816	8,4	190,22	-0,7943	18,58	-0,7774	-266,1170	8,4	197,61	-0,7257	19,99	-0,7167	-239,0226
8,5	181,97	-0,8826	16,64	-0,8826	-300,0359	8,5	192,07	-0,7845	18,50	-0,7728	-264,5596	8,5	199,61	-0,7257	19,93	-0,7136	-237,9737
						8,6	193,92	-0,7747	18,44	-0,7685	-263,1044	8,6	201,59	-0,7257	19,85	-0,7096	-236,6433
						8,7	195,75	-0,7649	18,35	-0,7632	-261,3076	8,7	203,57	-0,7159	19,79	-0,7065	-235,6017
						8,8	197,58	-0,7551	18,27	-0,7579	-259,5191	8,8	205,54	-0,7159	19,71	-0,7025	-234,2807
						8,9	199,40	-0,7355	18,20	-0,7534	-257,9874	8,9	207,5	-0,7061	19,63	-0,6983	-232,8710
						9,0	201,21	-0,7257	18,13	-0,7491	-256,5562	9	209,46	-0,6963	19,57	-0,6952	-231,8411
						9,1	203,02	-0,7257	18,06	-0,7446	-255,0362	9,1	211,41	-0,6865	19,49	-0,6913	-230,5349
						9,2	204,82	-0,7257	17,99	-0,7404	-253,6159	9,2	213,35	-0,6865	19,43	-0,6882	-229,5123
						9,3	206,61	-0,7159	17,92	-0,7360	-252,1076	9,3	215,29	-0,6767	19,37	-0,6854	-228,5854
						9,4	208,39	-0,7159	17,85	-0,7318	-250,6983	9,4	217,22	-0,6767	19,29	-0,6815	-227,2922
						9,5	210,17	-0,7257	17,77	-0,7266	-248,9586	9,5	219,14	-0,6669	19,23	-0,6785	-226,2798
						9,6	211,94	-0,7257	17,70	-0,7222	-247,4689	9,6	221,06	-0,6767	19,16	-0,6747	-224,9959
						9,7	213,70	-0,7159	17,63	-0,7181	-246,0771	9,7	222,97	-0,6767	19,09	-0,6716	-223,9908
						9,8	215,46	-0,7159	17,56	-0,7137	-244,5991	9,8	224,87	-0,6669	19,02	-0,6678	-222,7162
						9,9	217,21	-0,7159	17,49	-0,7096	-243,2182	9,9	226,76	-0,6669	18,96	-0,6648	-221,7183
						10,0	218,95	-0,7061	17,41	-0,7046	-241,5138	10	228,65	-0,6669	18,90	-0,6621	-220,8140
						10,1	220,68	-0,6963	17,34	-0,7003	-240,0544	10,1	230,54	-0,6669	18,82	-0,6583	-219,5524
						10,2	222,41	-0,6865	17,27	-0,6962	-238,6911	10,2	232,41	-0,6570	18,76	-0,6554	-218,5648
						10,3	224,13	-0,6865	17,20	-0,6919	-237,2434	10,3	234,28	-0,6570	18,71	-0,6527	-217,6698
						10,4	225,85	-0,6767	17,14	-0,6886	-236,1253	10,4	236,14	-0,6570	18,63	-0,6489	-216,4212
						10,5	227,55	-0,6767	17,08	-0,6846	-234,7773	10,5	238	-0,6472	18,57	-0,6460	-215,4438
						10,6	229,25	-0,6669	17,00	-0,6804	-233,3460	10,6	239,85	-0,6472	18,51	-0,6434	-214,5581
						10,7	230,95	-0,6669	16,95	-0,6771	-232,2405	10,7	241,7	-0,6374	18,43	-0,6396	-213,3225
						10,8	232,64	-0,6669	16,88	-0,6732	-230,9078	10,8	243,53	-0,6276	18,37	-0,6367	-212,3553
						10,9	234,32	-0,6669	16,81	-0,6690	-229,4928	10,9	245,36	-0,6276	18,32	-0,6341	-211,4789
						11,0	235,99	-0,6669	16,74	-0,6651	-228,1710	11	247,19	-0,6178	18,24	-0,6305	-210,2563
						11,1	237,66	-0,6669	16,67	-0,6609	-226,7677	11,1	249,01	-0,6178	18,18	-0,6276	-209,2993
												11,2	250,82	-0,6080	18,12	-0,6250	-208,4322
												11,3	252,63	-0,6080	18,07	-0,6224	-207,5677
												11,4	254,43	-0,6080	18,01	-0,6198	-206,7058
												11,5	256,22	-0,6178	17,96	-0,6172	-205,8466
												11,6	258,01	-0,6178	17,88	-0,6136	-204,6482

11,7	259,79	-0,6178	17,82	-0,6108	-203,7102
11,8	261,57	-0,6080	17,76	-0,6083	-202,8603
11,9	263,34	-0,6080	17,71	-0,6057	-202,0131
12	265,1	-0,5982	17,65	-0,6032	-201,1685
12,1	266,86	-0,5982	17,57	-0,5997	-199,9905
12,2	268,61	-0,5982	17,51	-0,5969	-199,0686
12,3	270,36	-0,5982	17,46	-0,5944026	-198,2333
12,4	272,1	-0,5982	17,40	-0,5919058	-197,4006
12,5	273,83	-0,5982	17,34	-0,5894171	-196,5706
12,6	275,56	-0,5982	17,29	-0,5869363	-195,7432
12,7	277,28	-0,5884	17,23	-0,5844634	-194,9186
12,8	279	-0,5884	17,18	-0,5819985	-194,0965
12,9	280,71	-0,5786	17,10	-0,5785611	-192,9501
13	282,42	-0,5786	17,04	-0,5758711	-192,0530
13,1	284,11	-0,5786	16,98	-0,5734341	-191,2403
13,2	285,81	-0,5688	16,93	-0,571005	-190,4302
13,3	287,49	-0,5688	16,87	-0,5685839	-189,6227
13,4	289,18	-0,5688	16,82	-0,5661708	-188,8179
13,5	290,85	-0,5688	16,76	-0,5637656	-188,0158
13,6	292,52	-0,5688	16,71	-0,5613683	-187,2163
13,7	294,19	-0,5590	16,65	-0,5589791	-186,4195

PŘÍLOHA č. 2

Výpis naměřených hodnot závodu Akcelerace

parametry:

		cas	distanc	rychlost	rychlost (m/s)
m_bez	333,5				
m	340				
rd	232	0	0	0,06	0,017
g	9,81	0,1	0,02	0,42	0,117
ρ	1,23	0,2	0,04	0,84	0,233
Sx_nor	1,13	0,3	0,06	0,8	0,222
Sx_drs	1,02	0,4	0,12	2,02	0,561
Sx_bez	0,88	0,5	0,24	4,34	1,206
e_nor	6,00551	0,6	0,45	7,68	2,133
Cx_nor	1,11058	0,7	0,77	11,52	3,200
e_drs	4,44441	0,8	1,2	15,46	4,294
Cx_drs	0,93420	0,9	1,77	20,58	5,717
e_bez	4,76634	1	2,46	24,84	6,900
Cx_bez	0,79453	1,1	3,25	28,52	7,922
P	75 021	1,2	4,15	32,06	8,906
		1,3	5,13	35,28	9,800
		1,4	6,19	38,18	10,606
		1,5	7,32	41	11,389
		1,6	8,53	43,46	12,072
		1,7	9,8	45,8	12,722
		1,8	11,14	48,22	13,394
		1,9	12,54	50,38	13,994
		2	14,01	52,84	14,678
		2,1	15,55	55,54	15,428
		2,2	17,17	58,22	16,172
		2,3	18,86	60,88	16,911
		2,4	20,63	63,72	17,700
		2,5	22,47	66,32	18,422
		2,6	24,39	68,9	19,139
		2,7	26,37	71,36	19,822
		2,8	28,42	73,66	20,461
		2,9	30,53	75,92	21,089
		3	32,69	77,96	21,656
		3,1	34,91	79,74	22,150
		3,2	37,17	81,46	22,628
		3,3	39,48	83,2	23,111
		3,4	41,83	84,72	23,533
		3,5	44,23	86,32	23,978
		3,6	46,67	87,9	24,417
		3,7	49,16	89,42	24,839
		3,8	51,69	91,08	25,300
		3,9	54,27	92,94	25,817
		4	56,9	94,64	26,289
		4,1	59,57	96,3	26,750
		4,2	62,29	97,8	27,167
		4,3	65,05	99,38	27,606
		4,4	67,86	101,1	28,083
		4,5	70,69	102	28,333
		4,6	73,54	102,44	28,456
		4,7	75,16	102,55	28,486

PŘÍLOHA č. 3

Výpis hodnot ze závodu v Maďarsku vozu UWB03

	Time	Time (s)	Distance [m]	Speed [km/h]	odpor vozu bez paketu [N]	odpor vozu s packetem normal [N]	odpor vozu s packetem DRS [N]
Lap: 2	00.46.249	0	0	45,342	135,43	208,77	208,77
		0,1	1,29	46,318	138,39	214,10	214,10
		0,2	2,61	47,494	142,06	220,67	220,67
		0,3	3,96	48,832	146,33	228,35	228,35
U1		0,4	5,36	50,232	150,93	236,61	177,99
		0,5	6,79	51,708	155,93	245,57	184,80
		0,6	8,28	53,422	161,90	256,30	192,94
		0,7	9,82	55,436	169,18	269,35	202,86
		0,8	11,42	57,826	178,16	285,47	215,10
		0,9	13,1	60,26	187,70	302,59	228,09
		1	14,83	62,184	195,51	316,62	238,75
		1,1	16,6	63,984	203,05	330,14	249,02
		1,2	18,43	65,784	210,80	344,05	259,58
		1,3	20,31	67,508	218,42	357,74	269,97
		1,4	22,22	69,07	225,50	370,44	279,62
		1,5	24,19	70,608	232,63	383,24	289,33
		1,6	26,19	72,17	240,03	396,52	299,41
		1,7	28,24	73,86	248,22	411,22	310,57
		1,8	30,35	75,974	258,72	430,08	324,90
		1,9	32,52	78,008	269,12	448,73	339,06
		2	34,73	79,608	277,48	463,75	350,46
		2,1	36,98	81,094	285,41	477,97	361,26
		2,2	39,27	82,166	291,21	488,39	369,17
		2,3	41,57	82,866	295,05	495,27	374,40
		2,4	43,88	83,262	297,23	499,19	377,37
		2,5	46,19	83,048	296,05	497,07	497,07
		2,6	48,48	82,496	293,02	491,63	491,63
		2,7	50,74	81,506	287,63	481,96	481,96
		2,8	52,96	79,826	278,64	465,82	465,82
		2,9	55,12	77,64	267,22	445,32	445,32
		3	57,22	75,602	256,85	426,72	426,72
		3,1	59,26	73,426	246,09	407,41	407,41
		3,2	61,23	71,126	235,06	387,61	387,61
		3,3	63,14	68,788	224,21	368,13	368,13
		3,4	64,99	66,464	213,78	349,41	349,41
		3,5	66,77	64,302	204,40	332,57	332,57
		3,6	68,5	62,126	195,27	316,19	316,19
		3,7	70,16	59,712	185,51	298,68	298,68

3,8	71,74	57,036	175,15	280,07	280,07
3,9	73,26	54,616	166,18	263,98	263,98
4	74,73	52,93	160,17	253,18	253,18
4,1	76,16	51,506	155,23	244,32	244,32
4,2	77,56	50,282	151,10	236,90	236,90
4,3	78,93	49,296	147,84	231,06	231,06
4,4	80,27	48,458	145,12	226,18	226,18
4,5	81,6	47,596	142,38	221,25	221,25
4,6	82,9	46,872	140,11	217,18	217,18
4,7	84,18	46,12	137,79	213,01	213,01
4,8	85,43	45,12	134,76	207,58	207,58
4,9	86,66	44,234	132,13	202,86	202,86
5	87,87	43,61	130,31	199,60	199,60
5,1	89,07	43,072	128,77	196,82	196,82
5,2	90,24	42,32	126,64	193,00	193,00
5,3	91,39	41,206	123,55	187,46	187,46
5,4	92,5	39,906	120,05	181,18	181,18
5,5	93,57	38,606	116,66	175,10	175,10
5,6	94,6	37,192	113,11	168,72	168,72
5,7	95,6	35,744	109,60	162,43	162,43
5,8	96,55	34,468	106,63	157,09	157,09
5,9	97,48	33,448	104,33	152,97	152,97
6	98,41	33,314	104,04	152,43	152,43
6,1	99,34	33,652	104,79	153,78	153,78
6,2	100,28	33,862	105,26	154,62	154,62
6,3	101,23	33,99	105,55	155,14	155,14
6,4	102,18	34,262	106,16	156,25	156,25
6,5	103,13	34,162	105,94	155,84	155,84
6,6	104,07	34,062	105,71	155,43	155,43
6,7	105,02	34,114	105,83	155,64	155,64
6,8	105,98	34,414	106,51	156,87	156,87
6,9	106,94	34,676	107,11	157,95	157,95
7	107,91	34,838	107,48	158,62	158,62
7,1	108,88	34,843	107,49	158,64	158,64
7,2	109,84	34,693	107,15	158,02	158,02
7,3	110,8	34,486	106,67	157,16	157,16
7,4	111,75	34,148	105,90	155,78	155,78
7,5	112,69	33,71	104,92	154,01	154,01
7,6	113,61	33,172	103,72	151,87	151,87
7,7	114,51	32,572	102,41	149,52	149,52
7,8	115,4	31,972	101,13	147,21	147,21
7,9	116,28	31,448	100,03	145,24	145,24
8	117,14	30,972	99,04	143,47	143,47
8,1	117,98	30,41	97,90	141,41	141,41
8,2	118,81	29,872	96,82	139,48	139,48
8,3	119,62	29,272	95,64	137,37	137,37

8,4	120,42	28,748	94,63	135,56	135,56
8,5	121,21	28,386	93,95	134,32	134,32
8,6	121,99	28,086	93,39	133,32	133,32
8,7	122,76	27,748	92,76	132,19	132,19
8,8	123,53	27,443	92,20	131,19	131,19
8,9	124,29	27,293	91,93	130,70	130,70
9	125,04	27,124	91,62	130,15	130,15
9,1	125,79	26,924	91,27	129,51	129,51
9,2	126,53	26,762	90,98	128,99	128,99
9,3	127,27	26,776	91,00	129,04	129,04
9,4	128,02	26,862	91,16	129,31	129,31
9,5	128,77	26,838	91,11	129,23	129,23
9,6	129,52	27,014	91,43	129,80	129,80
9,7	130,27	27,086	91,56	130,03	130,03
9,8	131,01	26,634	90,75	128,58	128,58
9,9	131,73	25,934	89,53	126,39	126,39
10	132,43	25,12	88,15	123,92	123,92
10,1	133,1	24,082	86,46	120,88	120,88
10,2	133,74	23,134	84,97	118,21	118,21
10,3	134,36	22,244	83,63	115,81	115,81
10,4	134,95	21,386	82,39	113,58	113,58
10,5	135,54	21,219	82,15	113,15	113,15
10,6	136,13	21,269	82,22	113,28	113,28
10,7	136,73	21,604	82,70	114,13	114,13
10,8	137,35	22,518	84,04	116,54	116,54
10,9	138,02	23,77	85,96	119,99	119,99
11	138,72	25,346	88,53	124,60	124,60
11,1	139,47	27,122	91,62	130,15	130,15
11,2	140,28	29,136	95,38	136,89	136,89
11,3	141,16	31,488	100,11	145,39	145,39
11,4	142,1	33,974	105,51	155,08	155,08
11,5	143,11	36,274	110,87	164,70	164,70
11,6	144,18	38,65	116,78	175,30	175,30
11,7	145,33	41,34	123,92	188,11	188,11
11,8	146,56	44,454	132,78	204,02	204,02
11,9	147,88	47,374	141,68	219,99	219,99
12	149,26	49,674	149,08	233,29	233,29
12,1	150,7	51,86	156,45	246,50	246,50
12,2	152,19	53,594	162,51	257,39	257,39
12,3	153,71	54,856	167,06	265,54	265,54
12,4	155,26	55,828	170,63	271,95	271,95
12,5	156,83	56,314	172,43	275,20	275,20
12,6	158,4	56,462	172,99	276,19	276,19
12,7	159,97	56,362	172,61	275,52	275,52
12,8	161,52	55,996	171,25	273,07	273,07
12,9	163,06	55,234	168,44	268,02	268,02

13	164,57	54,458	165,61	262,95	262,95
13,1	166,06	53,558	162,39	257,16	257,16
13,2	167,52	52,582	158,95	250,99	250,99
13,3	168,94	51,406	154,89	243,71	243,71
13,4	170,34	50,144	150,64	236,08	236,08
13,5	171,7	48,944	146,69	229,00	229,00
13,6	173,02	47,706	142,72	221,87	221,87
13,7	174,31	46,216	138,08	213,54	213,54
13,8	175,54	44,416	132,67	203,82	203,82
13,9	176,73	42,73	127,79	195,07	195,07
14	177,87	41,192	123,51	187,39	187,39
14,1	178,97	39,668	119,42	180,05	180,05
14,2	180,04	38,42	116,19	174,24	174,24
14,3	181,08	37,42	113,67	169,73	169,73
14,4	182,1	36,686	111,87	166,49	166,49
14,5	183,11	36,589	111,63	166,07	166,07
14,6	184,13	36,822	112,20	167,08	167,08
14,7	185,15	37,055	112,77	168,11	168,11
14,8	186,19	37,618	114,17	170,61	170,61
14,9	187,26	38,604	116,66	175,09	175,09
15	188,36	39,404	118,73	178,81	178,81
15,1	189,47	40,166	120,74	182,42	182,42
15,2	190,61	40,79	122,42	185,42	185,42
15,3	191,75	41,29	123,78	187,87	187,87
15,4	192,91	41,676	124,84	189,78	189,78
15,5	194,08	41,876	125,40	190,77	190,77
15,6	195,24	42,076	125,95	191,77	191,77
15,7	196,42	42,149	126,16	192,14	192,14
15,8	197,59	42,016	125,79	191,47	191,47
15,9	198,76	41,883	125,42	190,81	190,81
16	199,91	41,648	124,76	189,64	189,64
16,1	201,06	41,248	123,66	187,66	187,66
16,2	202,19	40,81	122,47	185,52	185,52
16,3	203,31	40,348	121,23	183,29	183,29
16,4	204,42	39,948	120,16	181,38	181,38
16,5	205,52	39,51	119,01	179,30	179,30
16,6	206,61	39,048	117,80	177,14	177,14
16,7	207,68	38,61	116,68	175,12	175,12
16,8	208,74	38,148	115,50	173,00	173,00
16,9	209,79	37,786	114,59	171,37	171,37
17	210,83	37,448	113,74	169,85	169,85
17,1	211,86	37,124	112,94	168,41	168,41
17,2	212,89	37,057	112,78	168,12	168,12
17,3	213,92	37,207	113,15	168,78	168,78
17,4	214,96	37,452	113,75	169,87	169,87
17,5	216,01	37,89	114,85	171,84	171,84

17,6	217,08	38,504	116,40	174,63	174,63
17,7	218,18	39,418	118,77	178,87	178,87
17,8	219,3	40,632	121,99	184,66	184,66
17,9	220,47	41,88	125,41	190,79	190,79
18	221,66	42,956	128,44	196,23	196,23
18,1	222,88	44,08	131,68	202,05	202,05
18,2	224,13	44,928	134,19	206,55	206,55
18,3	225,4	45,49	135,87	209,57	209,57
18,4	226,67	45,838	136,93	211,47	211,47
18,5	227,94	45,824	136,88	211,39	211,39
18,6	229,21	45,624	136,28	210,30	210,30
18,7	230,47	45,196	134,99	207,99	207,99
18,8	231,69	44,206	132,05	202,72	202,72
18,9	232,89	43,02	128,62	196,55	196,55
19	234,05	41,982	125,69	191,30	191,30
19,1	235,19	40,844	122,56	185,69	185,69
19,2	236,29	39,758	119,66	180,47	180,47
19,3	237,37	38,82	117,21	176,08	176,08
19,4	238,43	38,01	115,15	172,38	172,38
19,5	239,47	37,548	113,99	170,30	170,30
19,6	240,5	37,224	113,19	168,86	168,86
19,7	241,54	37,024	112,70	167,97	167,97
19,8	242,56	36,824	112,21	167,09	167,09
19,9	243,59	36,852	112,27	167,22	167,22
20	244,62	37,404	113,63	169,66	169,66
20,1	245,69	38,28	115,83	173,61	173,61
20,2	246,78	39,318	118,51	178,40	178,40
20,3	247,91	40,532	121,72	184,17	184,17
20,4	249,07	41,818	125,24	190,48	190,48
20,5	250,26	42,842	128,11	195,64	195,64
20,6	251,47	43,704	130,59	200,09	200,09
20,7	252,71	44,542	133,04	204,49	204,49
20,8	253,97	45,48	135,84	209,52	209,52
20,9	255,25	46,176	137,96	213,32	213,32
21	256,54	46,224	138,11	213,58	213,58
21,1	257,81	45,948	137,26	212,07	212,07
21,2	259,07	45,32	135,36	208,65	208,65
21,3	260,3	44,13	131,83	202,32	202,32
21,4	261,48	42,63	127,51	194,57	194,57
21,5	262,63	41,092	123,24	186,90	186,90
21,6	263,72	39,34	118,56	178,51	178,51
21,7	264,75	37,188	113,10	168,70	168,70
21,8	265,72	34,788	107,37	158,41	158,41
21,9	266,62	32,54	102,35	149,40	149,40
22	267,47	30,692	98,47	142,44	142,44
22,1	268,29	29,206	95,52	137,14	137,14

22,2	269,06	28,02	93,26	133,10	133,10
22,3	269,82	27,248	91,85	130,55	130,55
22,4	270,57	26,962	91,33	129,63	129,63
22,5	271,32	27,052	91,49	129,92	129,92
22,6	272,09	27,642	92,57	131,84	131,84
22,7	272,88	28,656	94,46	135,24	135,24
22,8	273,72	30,198	97,47	140,65	140,65
22,9	274,62	32,108	101,42	147,73	147,73
23	275,55	33,632	104,74	153,70	153,70
23,1	276,52	35,108	108,11	159,74	159,74
23,2	277,55	36,898	112,39	167,42	167,42

U2

23,3	278,63	39,036	117,77	177,09	177,09
23,4	279,78	41,236	123,63	187,60	140,79
23,5	280,99	43,436	129,81	198,70	149,21
23,6	282,26	45,712	136,54	210,78	158,38
23,7	283,6	48,416	144,99	225,94	169,89
23,8	285,04	51,73	156,00	245,70	184,90
23,9	286,56	54,926	167,31	266,00	200,31
24	288,16	57,55	177,10	283,58	213,66
24,1	289,83	60,012	186,71	300,81	226,75
24,2	291,56	62,336	196,14	317,75	239,60
24,3	293,35	64,46	205,08	333,79	251,78
24,4	295,19	66,194	212,59	347,28	262,03
24,5	297,06	67,456	218,19	357,32	269,65
24,6	298,97	68,58	223,26	366,43	276,57
24,7	300,89	69,352	226,79	372,77	281,38
24,8	302,83	69,524	227,59	374,19	282,46
24,9	304,75	69,134	225,79	370,97	370,97
25	306,64	68,244	221,74	363,69	363,69
25,1	308,5	66,892	215,67	352,81	352,81
25,2	310,31	65,292	208,66	340,21	340,21
25,3	312,08	63,464	200,85	326,20	326,20
25,4	313,78	61,416	192,36	310,97	310,97
25,5	315,44	59,654	185,28	298,26	298,26
25,6	317,05	57,916	178,51	286,09	286,09
25,7	318,6	55,888	170,85	272,35	272,35
25,8	320,09	53,45	162,00	256,48	256,48
25,9	321,5	51,026	153,60	241,39	241,39
26	322,86	48,802	146,23	228,17	228,17
26,1	324,16	46,74	139,70	216,44	216,44
26,2	325,4	44,816	133,85	205,95	205,95
26,3	326,6	43,13	128,93	197,12	197,12
26,4	327,76	41,744	125,03	190,11	190,11

26,5	328,89	40,582	121,86	184,42	184,42
26,6	329,99	39,558	119,13	179,53	179,53
26,7	331,06	38,62	116,70	175,16	175,16
26,8	332,11	37,734	114,46	171,13	171,13
26,9	333,14	37,072	112,81	168,18	168,18
27	334,15	36,51	111,44	165,72	165,72
27,1	335,15	36,048	110,33	163,73	163,73
27,2	336,14	35,724	109,56	162,34	162,34
27,3	337,13	35,524	109,08	161,49	161,49
27,4	338,12	35,438	108,88	161,13	161,13
27,5	339,1	35,614	109,30	161,87	161,87
27,6	340,1	35,914	110,01	163,15	163,15
27,7	341,11	36,328	111,00	164,93	164,93
27,8	342,14	36,966	112,55	167,72	167,72
27,9	343,18	37,628	114,19	170,66	170,66
28	344,25	38,228	115,70	173,37	173,37
28,1	345,32	38,79	117,14	175,95	175,95
28,2	346,41	39,252	118,33	178,09	178,09
28,3	347,51	39,652	119,38	179,97	179,97
28,4	348,63	40,09	120,54	182,05	182,05
28,5	349,76	40,628	121,98	184,64	184,64
28,6	350,9	41,228	123,61	187,56	187,56
28,7	352,07	41,866	125,37	190,72	190,72
28,8	353,25	42,566	127,33	194,24	194,24
28,9	354,44	43,038	128,67	196,65	196,65
29	355,64	43,138	128,96	197,16	197,16
29,1	356,84	43,124	128,92	197,09	197,09
29,2	358,03	42,696	127,70	194,90	194,90
29,3	359,19	41,782	125,14	190,30	190,30
29,4	360,31	40,644	122,02	184,72	184,72
29,5	361,41	39,406	118,74	178,81	178,81
29,6	362,47	38,068	115,30	172,64	172,64
29,7	363,48	36,516	111,46	165,75	165,75
29,8	364,44	34,678	107,11	157,96	157,96
29,9	365,36	33,006	103,36	151,22	151,22
30	366,24	31,744	100,65	146,35	146,35
30,1	367,09	30,62	98,32	142,18	142,18
30,2	367,92	29,696	96,47	138,86	138,86
30,3	368,72	28,972	95,06	136,33	136,33
30,4	369,51	28,41	93,99	134,41	134,41
30,5	370,29	27,948	93,13	132,86	132,86
30,6	371,06	27,586	92,46	131,66	131,66
30,7	371,81	27,21	91,78	130,43	130,43
30,8	372,55	26,634	90,75	128,58	128,58
30,9	373,28	26,162	89,92	127,10	127,10
31	374	26,138	89,88	127,03	127,03

31,1	374,74	26,352	90,25	127,69	127,69
31,2	375,48	26,828	91,09	129,20	129,20
31,3	376,25	27,58	92,45	131,64	131,64
31,4	377,04	28,466	94,10	134,60	134,60
31,5	377,85	29,204	95,51	137,13	137,13
31,6	378,68	30,004	97,08	139,95	139,95
31,7	379,54	30,766	98,62	142,71	142,71
31,8	380,41	31,39	99,91	145,02	145,02
31,9	381,29	31,89	100,96	146,90	146,90
32	382,19	32,39	102,02	148,82	148,82
32,1	383,11	32,928	103,19	150,91	150,91
32,2	384,04	33,566	104,60	153,44	153,44
32,3	385	34,342	106,34	156,57	156,57
32,4	385,97	35,204	108,33	160,14	160,14
32,5	386,97	35,966	110,13	163,37	163,37
32,6	387,99	36,742	112,00	166,73	166,73
32,7	389,04	37,718	114,42	171,06	171,06
32,8	390,12	38,97	117,60	176,78	176,78
32,9	391,24	40,318	121,15	183,14	183,14
33	392,39	41,304	123,82	187,94	187,94
33,1	393,56	42,142	126,14	192,10	192,10
33,2	394,76	43,042	128,68	196,67	196,67
33,3	395,98	43,866	131,06	200,93	200,93
33,4	397,21	44,452	132,78	204,01	204,01
33,5	398,46	44,89	134,07	206,34	206,34
33,6	399,72	45,352	135,46	208,83	208,83
33,7	400,98	45,524	135,98	209,76	209,76
33,8	402,24	45,248	135,14	208,27	208,27
33,9	403,48	44,734	133,61	205,51	205,51
34	404,7	43,882	131,10	201,02	201,02
34,1	405,89	42,706	127,73	194,95	194,95
34,2	407,04	41,406	124,10	188,44	188,44
34,3	408,15	39,992	120,28	181,59	181,59
34,4	409,22	38,544	116,51	174,81	174,81
34,5	410,26	37,382	113,58	169,56	169,56
34,6	411,26	36,32	110,98	164,90	164,90
34,7	412,24	35,244	108,43	160,31	160,31
34,8	413,19	34,158	105,93	155,82	155,82
34,9	414,12	33,258	103,91	152,21	152,21
35	415,02	32,434	102,12	148,99	148,99
35,1	415,9	31,848	100,87	146,74	146,74
35,2	416,78	31,486	100,11	145,38	145,38
35,3	417,64	31,224	99,56	144,40	144,40
35,4	418,51	31,29	99,70	144,65	144,65
35,5	419,4	31,866	100,91	146,81	146,81
35,6	420,31	32,718	102,73	150,09	150,09

35,7	421,25	34,008	105,59	155,21	155,21
35,8	422,24	35,684	109,46	162,17	162,17
35,9	423,28	37,446	113,74	169,84	169,84
36	424,37	39,146	118,06	177,60	177,60
36,1	425,51	40,846	122,57	185,70	185,70
36,2	426,69	42,508	127,17	193,95	193,95
36,3	427,91	44,222	132,10	202,80	202,80
36,4	429,19	45,856	136,98	211,56	211,56
36,5	430,49	47,018	140,56	217,99	217,99
36,6	431,83	48,042	143,79	223,79	223,79
36,7	433,19	49,018	146,94	229,43	229,43
36,8	434,58	50,08	150,43	235,70	235,70
36,9	436	50,966	153,40	241,03	241,03
37	437,43	51,628	155,65	245,07	245,07
37,1	438,88	52,228	157,72	248,78	248,78
37,2	440,35	52,866	159,94	252,78	252,78
37,3	441,84	53,528	162,28	256,97	256,97
37,4	443,34	54,204	164,70	261,31	261,31
37,5	444,87	55,004	167,60	266,51	266,51

U3

37,6	446,42	55,804	170,54	271,79	271,79
37,7	448	56,87	174,52	278,94	210,14
37,8	449,63	58,636	181,29	291,09	219,36
37,9	451,31	60,608	189,09	305,10	230,00
38	453,04	62,246	195,77	317,08	239,10
38,1	454,82	63,946	202,89	329,86	248,80
38,2	456,64	65,646	210,20	342,97	258,76
38,3	458,51	67,308	217,53	356,13	268,75
38,4	460,42	68,87	224,58	368,80	278,37
38,5	462,38	70,37	231,51	381,24	287,81
38,6	464,37	71,794	238,23	393,30	296,97
38,7	466,41	73,36	245,77	406,83	307,25
38,8	468,51	75,512	256,40	425,91	321,73
38,9	470,66	77,494	266,46	443,97	335,44
39	472,85	78,756	273,01	455,71	344,36
39,1	475,07	79,804	278,52	465,61	351,88
39,2	477,3	80,338	281,36	470,70	355,74
39,3	479,53	80,21	280,68	469,48	469,48
39,4	481,74	79,634	277,62	464,00	464,00
39,5	483,93	78,82	273,34	456,31	456,31
39,6	486,08	77,63	267,16	445,23	445,23
39,7	488,19	75,94	258,55	429,77	429,77
39,8	490,24	73,674	247,30	409,58	409,58
39,9	492,22	71,126	235,06	387,61	387,61

40	494,13	68,75	224,04	367,82	367,82
40,1	495,96	66,174	212,50	347,12	347,12
40,2	497,73	63,55	201,21	326,85	326,85
40,3	499,42	60,936	190,41	307,47	307,47
40,4	501,04	58,364	180,23	289,20	289,20
40,5	502,6	56,24	172,16	274,70	274,70
40,6	504,11	54,24	164,83	261,54	261,54
40,7	505,56	52,05	157,10	247,68	247,68
40,8	506,94	49,626	148,93	233,00	233,00
40,9	508,25	47,402	141,77	220,15	220,15
41	509,51	45,416	135,65	209,17	209,17
41,1	510,73	43,654	130,44	199,83	199,83
41,2	511,89	41,992	125,72	191,35	191,35
41,3	513,02	40,468	121,55	183,87	183,87
41,4	514,1	39,068	117,86	177,24	177,24
41,5	515,15	37,668	114,29	170,84	170,84
41,6	516,16	36,344	111,04	165,00	165,00
41,7	517,13	34,802	107,40	158,47	158,47
41,8	518,03	32,664	102,61	149,88	149,88
41,9	518,88	30,616	98,31	142,16	142,16
42	519,68	28,778	94,69	135,66	135,66
42,1	520,43	26,954	91,32	129,61	129,61
42,2	521,14	25,368	88,57	124,66	124,66
42,3	521,8	23,968	86,27	120,55	120,55
42,4	522,43	22,796	84,46	117,29	117,29
42,5	523,05	22,11	83,43	115,45	115,45
42,6	523,65	21,762	82,93	114,54	114,54
42,7	524,26	22,004	83,28	115,17	115,17
42,8	524,91	23,146	84,99	118,24	118,24
42,9	525,6	24,998	87,95	123,55	123,55
43	526,36	27,25	91,85	130,56	130,56
43,1	527,18	29,712	96,50	138,91	138,91
43,2	528,07	31,922	101,02	147,02	147,02
43,3	529,01	33,746	105,00	154,16	154,16
43,4	529,99	35,256	108,46	160,36	160,36
43,5	531	36,342	111,04	164,99	164,99
43,6	532,03	37,204	113,14	168,77	168,77
43,7	533,09	37,966	115,04	172,18	172,18
43,8	534,16	38,59	116,62	175,02	175,02
43,9	535,24	39,014	117,72	176,98	176,98
44	536,33	39,314	118,50	178,38	178,38
44,1	537,43	39,614	119,28	179,79	179,79
44,2	538,54	39,857	119,92	180,94	180,94
44,3	539,65	40,007	120,32	181,66	181,66
44,4	540,76	40,138	120,67	182,28	182,28
44,5	541,88	40,162	120,73	182,40	182,40

44,6	542,99	40,024	120,36	181,74	181,74
44,7	544,1	40,014	120,34	181,69	181,69
44,8	545,22	40,124	120,63	182,22	182,22
44,9	546,33	40,19	120,81	182,53	182,53
45	547,46	40,652	122,05	184,76	184,76
45,1	548,6	41,128	123,34	187,07	187,07
45,2	549,76	41,766	125,09	190,22	190,22
45,3	550,95	42,542	127,26	194,12	194,12
45,4	552,15	43,29	129,39	197,94	197,94
45,5	553,36	43,79	130,84	200,54	200,54
45,6	554,6	44,366	132,52	203,56	203,56
45,7	555,84	44,914	134,14	206,47	206,47
45,8	557,1	45,252	135,16	208,29	208,29
45,9	558,37	45,614	136,25	210,25	210,25
46	559,64	45,876	137,04	211,67	211,67
46,1	560,92	46,076	137,65	212,77	212,77
46,2	562,21	46,428	138,73	214,71	214,71
46,249	562,85	46,722	139,64	216,34	216,34

PŘÍLOHA č. 4

skript metody centrovaného zrychlení pro Matlab

```

function integr
% Numericka integrace poh. rovnic metodou centralniho zrichleni
% Funkce vraci pole vysledku kde sloupce jsou postupne:
% Cas    Posunuti    Rychlost    Zrychleni
%
% Script je mozno primo pouzit pro reseni uloh vlastni dynamiky
metodou
% redukce i uvolnovani
% Je NUTNE modifikovat funkci zrychleni(t, x, dx) podle konkretniho
modelu
% Funkce zrychleni(t, x, dx) je definovana az na uplnem konci
souboru

clc
close all
clear all

% integracni hodnoty
draha_max = 29.3; % m
v_pocatecni = 56.87; % km/h
t_max = 2.3; % s

t_init=0; % pocatecni cas [s]
t_final = t_max; % koncovy cas [s]
t_step = 0.001; % casovy krok [s]

x_0 = 0; % pocatecni hodnota posunuti [m], nebo natoceni
[rad]
dx_0 = v_pocatecni/3.6; % pocatecni hodnota rychlosti [m/s],
nebo [rad/s]

eps = 1e-8; % pozadovana presnost pri integraci

% zacatek vypoctu

t = t_init;
ddx_0 = zrychleni(t, x_0, dx_0);
vysl = [t, x_0, dx_0, ddx_0];

t = t + t_step;
krok = 1;

while t <= t_final % dokud neni dosazeno koncového času
% lze napsat i pro posunuti
chyba = 1;

ddx_1 = zrychleni(t, x_0, dx_0);

pocet = 0;
while chyba > eps
dx = dx_0 + 0.5 * (ddx_0 + ddx_1) * t_step;
x = x_0 + dx_0 * t_step + 0.5 * (ddx_0 + ddx_1) * 0.5
*t_step^2;

```

```

        ddx = zrychleni(t, x, dx);

        chyba = abs((ddx - ddx_1)/ddx);
        ddx_1 = ddx;
        pocet = pocet + 1;
    end

    vysl = [vysl; t, x, dx, ddx];
    x_0 = x;
    dx_0 = dx;
    ddx_0 = ddx;

%     disp(['Krok: ', num2str(krok), ' Cas: ', num2str(t), ' pocet
iteraci: ', num2str(pocet)]);
%     disp(sprintf('Krok: %d Cas: %.3f Pocet iteraci: %d', krok,
t, pocet));
        t = t + t_step;
        krok = krok + 1;
    end

cas_vysl = vysl(:,1);
draha_vysl = vysl(:,2);
rychlost_vysl = vysl(:,3);
zrychleni_vysl = vysl(:,4);

save('vysledek.mat', 'cas_vysl', 'draha_vysl', 'rychlost_vysl',
'zrychleni_vysl');

% Tisk grafu

figure
plot(vysl(:,1), vysl(:,2));
title('Prubeh posunuti v zavislosti na case')
xlabel('cas')
ylabel('posunuti')

figure
plot(vysl(:,1), vysl(:,3));
title('Prubeh rychlosti v zavislosti na case')
xlabel('cas')
ylabel('rychlost')

figure
plot(vysl(:,1), vysl(:,4));
title('Prubeh zrychleni v zavislosti na case')
xlabel('cas')
ylabel('zrychleni')

figure
plot(vysl(:,2), vysl(:,3));
xlim([0, draha_max])
title('Prubeh rychlosti v zavislosti na posuti')
xlabel('posunuti')
ylabel('rychlost')

```

```

function a = zrychleni (t, x, dx)

P = 36688; % W
m = 340; % kg
Sx = 0.88; % m^2
Cx = 0.79453; %

rho = 1.23; % kg/m^3

er = 4.76634e-3;% mm
rd = 232e-3; % mm
g = 9.81;

% drs _nor _bez
%Sx_1.02 _1.13 _0.88
%Cx_0.93420_1.11058_0.79453
%er_4.44441_6.00551_4.76634

a = P/dx/m - 0.5 * Sx * Cx * rho * dx^2 /m - g * er / rd;

```

PŘÍLOHA č. 5

Cost report zadního křídla

University University of the West bohemia
System Body
Assembly Rear wing
P/N Base A3010
Suffix AA
Details

Car # 60
Asm Cost \$ 1 065,83
Qty 1
FileLink1
FileLink2 **Extended C** \$ 1 065,83
FileLink3

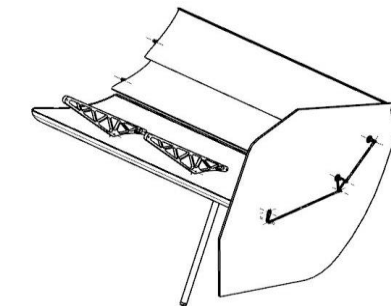
ItemOrder	Part	Part Cost	Quantity	Sub Total
1	Main Profile	\$ 179,39	1	\$ 179,385
2	Center Rib	\$ 8,27	2	\$ 16,546
3	Side Rib	\$ 7,76	2	\$ 15,519
4	Tube End Rib	\$ 7,76	4	\$ 31,038
5	Tube	\$ 0,60	2	\$ 1,193
6	Flap Profile	\$ 72,14	1	\$ 72,140
7	Flap Rib	\$ 0,88	2	\$ 1,758
8	Gurney Flap Profile	\$ 74,93	1	\$ 74,930
9	Gurney Flap Rib	\$ 0,88	2	\$ 1,758
10	Slat Profile	\$ 13,11	2	\$ 149,860
11	Slat Rib	\$ 0,23	4	\$ 3,516
12	Shaft	\$ 1,39	4	\$ 52,440
13	Flap Arm	\$ 0,29	4	\$ 52,440
14	Gurney Flap Arm	\$ 0,12	2	\$ 0,462
15	Spacer Ring	\$ 1,34	4	\$ 5,365
16	End Plate	\$ 96,63	2	\$ 193,250
17	Wing Holder	\$ 7,35	2	\$ 14,700
18	Support Tube Insert	\$ 1,61	4	\$ 6,420
19	Support Tube	\$ 4,96	2	\$ 9,915
20	Rod Tube Front	\$ 1,39	2	\$ 2,773
21	Rod Tube Rear	\$ 1,33	2	\$ 2,653
22	Servo Arm	\$ 1,18	2	\$ 2,356
Sub Total				\$ 882,635

ItemOrder	Process	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Multiplier	Mult. Val.	Sub Total
1	Assemble, 1 kg, Interface	Main Profile	\$ 0,19	unit	1		1	\$ 0,19
2	Weld	Tube with End Insert	\$ 0,15	cm	10		4	\$ 6,00
3	Weld	Tube to Center Rib	\$ 0,15	cm	10		4	\$ 6,00
4	Weld	Tube to Side Rib	\$ 0,15	cm	10		4	\$ 6,00
5	Brush Apply	Ribs to Main Profile	\$ 0,02	cm^2	71		4	\$ 5,68
6	Assemble, 1 kg, Interface	Flap Profile	\$ 0,19	unit	1		2	\$ 0,38
7	Brush Apply	Flap Rib to Flap Profile	\$ 0,02	cm^2	26		4	\$ 2,08
8	Assemble, 1 kg, Interface	Holder	\$ 0,19	unit	1		1	\$ 0,19
9	Brush Apply	Support Insert to Support Tube	\$ 0,02	cm ^2	10		1	\$ 0,20
10	Assemble, 1 kg, Interface	Rear Wing	\$ 0,19	unit	1		1	\$ 0,19
11	Hand - Start Only	Rear Wing	\$ 0,12	unit	1		1	\$ 0,12
12	Wrench <=25.4 mm		\$ 1,50	unit	36		1	\$ 54,00
10	Assemble, 1 kg, Interface	DRS	\$ 0,19	unit	2		1	\$ 0,38
								\$ -
								\$ -
Sub Total								81,22

ItemOrder	Fastener	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
1	Bolt, Grade 10.9 (SAE 8)	Plate to Rib	\$ 0,25	6 mm		15 mm		21	\$ 5,25
2	Nut, Grade 8.8 (SAE 5)	Assemble to frame	\$ 0,07	6 mm				8	\$ 0,56
3	Bolt, Grade 10.9 (SAE 8)	Assemble to frame	\$ 0,25	6 mm		20 mm		8	\$ 2,00
4	Rod End, Industrial	Assemble to frame	\$ 1,94	6 mm				4	\$ 7,76
									\$ -
									\$ -
									\$ -
									\$ -
Sub Total									\$ 15,57

ItemOrder	Material	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Area Name	Area	Length	Density	Quantity	Sub Total
1	Adhesive												\$ -
2	Servo		\$ 25,00									2,00	\$ 50,00
3	Bearing Ball, Radial		\$ 5,66									4,00	\$ 22,64
4	Rod End, Industrial		\$ 1,72									8,00	\$ 13,76
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
Sub Total													\$ 86,400

ItemOrder	Tooling	Use	UnitCost	Unit	Quantity	PVF	FractionIncluded	Sub Total
								\$ -
Sub Total								0



University University of the West bohemia
System Body
Assembly Rear wing
Part Shaft
P/N Base 0012
Suffix AA
Details

FileLink1
FileLink2
FileLink3

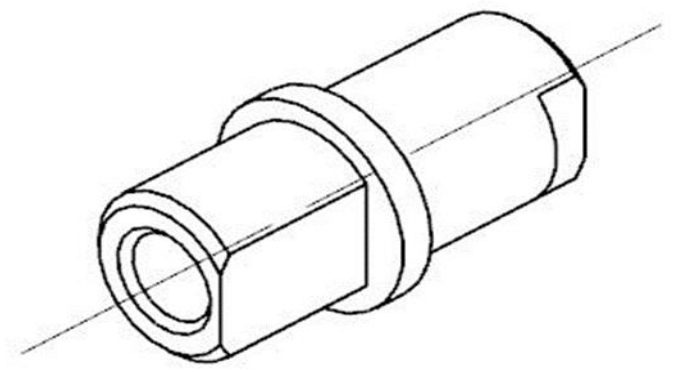
Car # 60

FileLink1
FileLink2
FileLink3

Part Cost \$ 1,39
Qty 1
Extended Cost \$ 1,39

ItemOrder	Material	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Area Name	Area	Length	Density	Quantity	Sub Total
1	Aluminum, Premium	Rear wing	\$ 4,20	0,0003	kg							0,0003	\$ 0,00
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
Sub Total												\$ 0,001	

ItemOrder	Process	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Multiplier	Mult. Val.	Sub Total
1	Machining Setup, Install and remove		\$ 1,30	unit	1			\$ 1,30
2	Machining		\$ 0,04	cm^3	2,1			\$ 0,08
								\$ -
								\$ -
								\$ -
								\$ -
								\$ -
								\$ -
Sub Total								\$ 1,38



ItemOrder	Fastener	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
									\$ -
									\$ -
									\$ -
									\$ -
									\$ -
									\$ -
									\$ -
									\$ -
Sub Total									\$ -

ItemOrder	Tooling	Use	UnitCost	Unit	Quantity	PVF	FracIncid	Sub Total
Sub Total								0

University University of the West bohemia
System Body
Assembly Rear wing
Part Flap Arm
P/N Base 0013
Suffix AA
Details

FileLink1
FileLink2
FileLink3

Car # 60
FileLink1
FileLink2
FileLink3

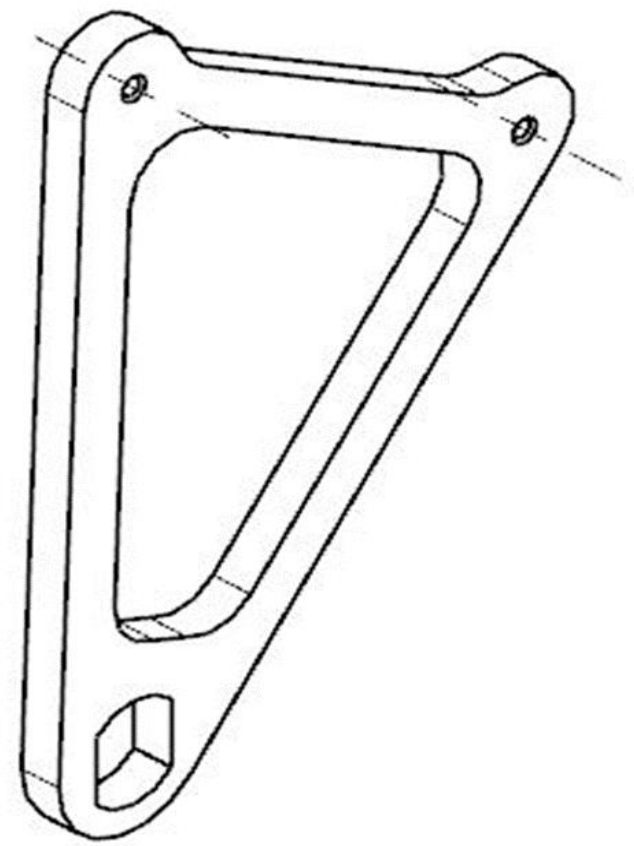
Part Cost \$ 0,29
Qty 1
Extended Cost \$ 0,29

ItemOrder	Material	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Area Name	Area	Length	Density	Quantity	Sub Total
1	Aluminum, Premium	Rear wing	\$ 4,20	0,005	kg							0,005	\$ 0,02
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
Sub Total												\$ 0,021	

ItemOrder	Process	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Multiplier	Mult. Val.	Sub Total
1	Laser cut	Shape cut	\$ 0,01	cm	27			\$ 0,27
								\$ -
								\$ -
								\$ -
								\$ -
								\$ -
								\$ -
								\$ -
								\$ -
Sub Total								\$ 0,27

ItemOrder	Fastener	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total
									\$ -
									\$ -
									\$ -
									\$ -
									\$ -
									\$ -
									\$ -
									\$ -
Sub Total									\$ -

ItemOrder	Tooling	Use	UnitCost	Unit	Quantity	PVF	FracIncid	Sub Total
Sub Total								0



University University of the West bohemia
System Body
Assembly Rear wing
Part Gurney Flap Arm
P/N Base 0014
Suffix AA
Details

FileLink1
FileLink2
FileLink3

Car # 60

FileLink1
FileLink2
FileLink3

Part Cost \$ 0,12
Qty 1
Extended Cost \$ 0,12

ItemOrder	Material	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Area Name	Area	Length	Density	Quantity	Sub Total
1	Aluminum, Premium	Rear wing	\$ 4,20	0,002	kg							0,002	\$ 0,01
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
													\$ -
												Sub Total	\$ 0,008

ItemOrder	Process	Use	UnitCost	Unit	Quantity	Multiplier	Mult. Val.	Sub Total	
1	Laser cut	Shape cut	\$ 0,01	cm	11			\$ 0,11	
								\$ -	
								\$ -	
								\$ -	
								\$ -	
								\$ -	
								\$ -	
								\$ -	
								\$ -	
								Sub Total	\$ 0,11

ItemOrder	Fastener	Use	UnitCost	Size1	Unit1	Size2	Unit2	Quantity	Sub Total	
									\$ -	
									\$ -	
									\$ -	
									\$ -	
									\$ -	
									\$ -	
									\$ -	
									\$ -	
									Sub Total	\$ -

ItemOrder	Tooling	Use	UnitCost	Unit	Quantity	PVF	FracIncid	Sub Total	
								Sub Total	0

