



## Středoškolská technika 2023

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

### Vliv tvaru a výšky karoserie na rychlost modelu auta

Adam Beran

První soukromé jazykové gymnázium Hradec Králové  
Brandlova 875, Hradec Králové

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci „*Vliv tvaru a výšky karoserie na rychlost modelu auta*“ v rámci projektu Středoškolské techniky samostatně a použil jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů. Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce jsou shodné. Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Hradci Králové dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Adam Beran

## **Poděkování**

Děkuji vedoucí práce Bc. Anežce Hovorkové za konzultace a odborné vedení mé práce. Děkuji i ostatním učitelům PSJG Hradec Králové za konzultace a podmínky k mé práci. Děkuji všem z klubu SCRC Pardubice za rady a pomoc, zejména Ing. Romanu Kalhousovi za užitečné poznatky při stavbě modelu a praktické rady při měření. Děkuji také rodičům za trvalou podporu, trpělivost a pomoc.

# Anotace

BERAN, A. Vliv tvaru a výšky karoserie na rychlost modelu auta. Hradec Králové, 2023. Práce v rámci Středoškolské techniky na Prvním soukromém jazykovém gymnáziu v Hradci Králové. Vedoucí práce Bc. Anežka Hovorková. 54 s.

Tato má práce, v rámci projektu Středoškolské techniky, se zabývá aerodynamikou modelů autíček. Hledáme závislost, jak se tvar a výška karoserie projeví na rychlosti modelu při zachování veškerých ostatních parametrů modelu auta. Pro měření jsou použity 4 typy karoserií vždy ve dvou výškách.

Práce je rozdělena na dvě části, část teoretickou a část praktickou. Teoretická část popisuje aerodynamiku, typy proudění, působení sil i parametr koeficient aerodynamického odporu, který ukazuje souhrnné aerodynamické vlastnosti automobilů. Součástí jsou i příklady využitelnosti v praxi při výrobě automobilů.

V praktické části práce jsou provedena měření na dráze a zaznamenány časy na kolo, které model zajel s příslušnou karoserií o příslušné výšce za jednotných podmínek. Výsledky jsou vzájemně porovnány a vyhodnoceny. Bylo určeno pořadí karoserií dle jejich aerodynamických vlastností.

Cílem práce je ověřit vliv tvaru a výšky karoserie modelu auta na jeho rychlost a ovladatelnost na dráze.

**Klíčová slova:** aerodynamika, karoserie, čas, rychlost



# Annotation

BERAN, A. The effect of body shape and height on the speed of a car model. Hradec Králové, 2023. Thesis competition Středoškolská technika at First Private Language Grammar School of Hradec Králové. Thesis Supervisor Bc. Anežka Hovorková. 54 s.

My work in the High School Vocational Project deals with the aerodynamics of models toy cars. We are looking at how the shape and height of the body affects the speed of the model when all the other parameters of the model car. For the measurements, 4 types of of bodywork at two heights each.

The work is divided into two parts, a theoretical part and a practical part. The theoretical part describes the aerodynamics, types of flow, forces and the aerodynamic coefficient parameter which shows the overall aerodynamic properties of cars. It also includes examples of practical applications in automotive manufacturing.

In the practical part of the thesis, measurements are made on the track and lap times recorded for the model with the appropriate body height under uniform conditions. The results are compared with each other and evaluated. The ranking of the bodies according to their aerodynamic properties.

The aim of the work is to verify the effect of the shape and height of the car body on its speed and handling on the track.

**Keywords:** aerodynamics, bodywork, time, speed

# Strukturovaná anotace

Klíčová slova: aerodynamika, karoserie, čas, rychlost

Rozsah práce: 54 stran

Záměr a cíl práce: Záměrem a cílem mé práce je ukázat vliv aerodynamiky na jízdní vlastnosti modelu autíčka. Ukázat, že tvar a výška karoserie ovlivňuje rychlost a ovladatelnost modelu na dráze.

Použité metody a techniky: V moji práci jsem použil své a zkušenosti mých kolegů z klubu SCRC Pardubice při stavbě modelů závodních autíček pro slot racingové závody na drahách. Model je sestaven dle pravidel pro závodní seriál HONDA CUP a doplněn o různé typy a výšky karoserií. Zkoumal jsem vliv typu a výšky karoserie na rychlost modelu. Měřil jsem časy, které model zajížděl na jedno kolo a následně prováděl vyhodnocení a porovnání.

Popis výsledků: Časy získané z automatického měření časů pomocí softwaru SPYTECH jsem zapsal do tabulky dle jednotlivých typů a výšek karoserií. Následně vypočítal potřebné hodnoty a data zpracoval do grafické podoby pro názornější porovnání.

Zhodnocení výsledků: Z měření je patrné, že aerodynamika má vliv na rychlost a další jízdní vlastnosti modelu autíčka. Jsou znatelné rozdíly v rychlosti modelů, kde byly použity typy karoserií používající výrazné zadní přitlačné křídlo. Přínosem práce je, že změnou tvaru, či dílčí úpravou karoserie modelu můžeme ovlivnit rychlost a jízdní vlastnosti modelu. Tohoto poznatku mohu využít pro vývoj závodních modelů pro závody, kterých se účastním. Poznatky z tvorby modelů či aerodynamických měření jsou v praxi využívány při vývoji osobních automobilů mnoha automobilkami světa.

Další možnosti řešení, pokračování v práci: Měření v mé práci porovnává čtyři různé typy karoserií ve dvou výškách na autodráze klubu SCRC Pardubice v Pardubicích. Určitě by stálo v práci pokračovat i s dalšími typy karoserií a měření provádět i na jiných drahách. Bylo by zajímavé porovnání chování modelů se stejnými typy karoserií na různých drahách.

## Seznam použitých zkratek

JMS	Jiří Míček senior
LMP1	Le Mans Prototype
FIA	Mezinárodní automobilová federace
WSC	World Sportscar Championship

# Obsah

ÚVOD	10
TEORETICKÁ ČÁST	11
<b>1 AERODYNAMIKA</b>	<b>11</b>
1.1 Základní pojmy aerodynamiky . . . . .	11
1.2 Obtékání těles reálnou tekutinou . . . . .	12
1.3 Aerodynamická odporová síla, součinitel odporu . . . . .	13
1.4 Základní pojmy aerodynamiky působící na karoserii automobilu . . . . .	13
1.4.1 Silové pole . . . . .	13
1.4.2 Rychlost obtékání, aerodynamický tlak . . . . .	13
1.4.3 Typy proudění . . . . .	14
1.4.4 Mezní vrstva . . . . .	15
1.4.5 Koeficient aerodynamického odporu $C_x$ . . . . .	16
1.5 Aerodynamika u automobilů . . . . .	17
1.6 Praktická využitelnost aerodynamiky . . . . .	18
PRAKTICKÁ ČÁST	21
<b>2 METODIKA MĚŘENÍ</b>	<b>21</b>
2.1 Parametry měření . . . . .	21
2.1.1 Parametry prostředí . . . . .	21
2.1.2 Parametry dráhy . . . . .	22
2.1.3 Parametry modelu autíčka . . . . .	23
2.1.4 Parametry ovladače modelu . . . . .	27
2.1.5 Parametry a metodika vlastního měření . . . . .	29
2.1.6 Zápis hodnot a výpočty . . . . .	29
<b>3 VÝSLEDKY</b>	<b>31</b>
3.1 Přehled výsledků měření . . . . .	31
3.1.1 Měření č.1 – Typ karoserie HONDA – 36 mm . . . . .	31
3.1.2 Měření č.2 - Typ karoserie HONDA – 38 mm . . . . .	33
3.1.3 Měření č.3 – Typ karoserie LOLA – 36 mm . . . . .	34
3.1.4 Měření č.4 – Typ karoserie LOLA – 38 mm . . . . .	36
3.1.5 Měření č.5 – Typ karoserie PORSCHE – 36 mm . . . . .	37
3.1.6 Měření č.6 – Typ karoserie PORSCHE – 38 mm . . . . .	39
3.1.7 Měření č.7 - Typ karoserie: PEUGEOT – 36 mm . . . . .	40
3.1.8 Měření č.8 – Typ karoserie PEUGEOT – 38 mm . . . . .	42
3.2 Souhrn výsledků naměřených časů a jejich porovnání . . . . .	43
DISKUZE	46

ZÁVĚR	48
LITERATURA	50
SEZNAM OBRÁZKŮ	52
SEZNAM TABULEK	53

# ÚVOD

Aerodynamika je obor, kterým se lidská společnost zabývala již v historii. Hlavním důvodem byla touha létat. V dnešní době je rozvoj aerodynamiky velmi silný a bouřivý. Používá se v mnoha oborech lidské činnosti, kde je využíváno proudění vzduchu okolo pevných těles. Jsou to obory jako kosmonautika a letectví, automobilový průmysl, stavebnictví, ale také sport či textilní průmysl a mnoho dalších. Správné znalosti aerodynamiky eliminují negativní vlivy prostředí na stavební konstrukce, snižují energetickou náročnost při pohybu těles v různých prostředích a tím šetří nemalé finanční prostředky. Vývojem nových řešení se zabývají vývojová centra za pomoci tzv. aerodynamických tunelů. Proud vzduchu zde působí na těleso. Jeho chování je pak předmětem zkoumání. Získané poznatky se následně uplatňují v úpravách návrhu daného produktu jak po stránce vzhledové, energetické náročnosti, tak finanční.

Moje práce se zabývá problematikou vlivu aerodynamiky na rychlost a ovladatelnost modelu autíčka při jízdě na dráze. Zjistit, zda a jakým způsobem může tvar a výška karoserie ovlivnit jízdní vlastnosti modelu. V teoretické části ukazují, jak proudění vzduchu a jaká síla působí na těleso a co popisuje součinitel odporu. Ukazují vývoj od historie až po současnost, jak tvar karoserie ovlivňuje jízdní vlastnosti aut, jak aerodynamické vlastnosti mají vliv na ekonomiku provozu automobilů.

V praktické části jsem provedl měření, kde hledám závislost mezi tvarem a výškou karoserie a rychlostí modelu autíčka. Vlastní měření jsem prováděl na dráze klubu SCRC Pardubice.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 1 AERODYNAMIKA

Aerodynamika je obor fyziky, zařazený do mechaniky, zabývající se studiem pohybu plynů a jejich interakcí s pevnými tělesy. Za plyn je obvykle považován vzduch, za pevný objekt například křídlo letadla či tvar karoserie automobilu. Fyzikální principy jsou identické v obou variantách případů. Prvním je, kdy těleso svým pohybem určitou rychlostí prochází plynným prostředím – např. letadlo prolétá vzduchem. Druhým pak je, kdy těleso stojí na místě a plynné prostředí proudí okolo tělesa – např. karoserie automobilu v aerodynamickém tunelu. Proudění plynu (vzduchu) okolo pevného tělesa je také nazýváno obtékáním. Platí, že čím je nižší aerodynamický odpor vzduchu u karoserie automobilu, tím je úspornější jeho provoz. Velikost aerodynamického odporu je vykazována pomocí součinitele aerodynamického odporu  $C$ . Hodnota  $C$  pak ukazuje na kvalitu tvaru karoserie. Aerodynamika tak úzce souvisí s designem a tím také s estetickým vnímáním karoserie. [1, 2]

### 1.1 Základní pojmy aerodynamiky

Některé vlastnosti kapalin a plynů jsou stejné. Společnou vlastností je tekutost. Příčina tekutosti je snadná pohyblivost částic, ze kterých se plynné či kapalné těleso skládá. Kapalná ani plynná tělesa nemají stálý tvar, ale udržují tvar nádoby, v níž se nachází. Pro tyto společné vlastnosti jsou kapaliny a plyny označovány jako tekutiny. [1]

Kapaliny a plyny mají však i řadu odlišných vlastností. Záleží na uspořádání jednotlivých částic a vzájemném působení sil mezi nimi. [1]

Kapalná tělesa se skládají z molekul, které vykonávají kmitavý pohyb. Molekuly na sebe působí přitažlivými silami. Kapaliny mají stálý objem i při různém tvaru nádoby. Kolem každé molekuly v kapalině je tzv. vzájemné molekulové působení. U molekul uvnitř kapaliny je výslednice sil tohoto vzájemného působení nulová. Jiná situace je na povrchu kapaliny. Pokud jsou kapaliny v klidu, vytvářejí volnou vodorovnou hladinu, a to i v případě různého tvaru nádoby. Zde na molekulu kapaliny působí přitažlivá síla směřující dovnitř kapaliny a opačným směrem pak působí síla vzduchu či vodní páry. Tato síla je výrazně menší než síla působící dovnitř kapaliny. Důvodem je nižší hustota molekul plynu v porovnání s hustotou molekul kapaliny. Jsou téměř nestlačitelné. Důvodem jsou odpudivé síly mezi jednotlivými částicemi kapaliny. [1]

Plynná tělesa nemají stálý tvar, nemají stálý objem a nevytvářejí v klidu volnou vodorovnou hladinu. Tvar tělesa a jeho objem je dán tvarem a objemem nádoby, kde je plyn uzavřen. Plynné těleso je dobře stlačitelné, vzdálenost mezi částicemi je velká a vzájemné síly velmi malé. [1]

Tekutost je základní vlastností tekutin. Každá tekutina se vyznačuje jinou tek-

ností. Důvodem je různá pohyblivost částic u plynů a u kapalin. U plynů je větší, u kapalin menší. Tekutost je zapříčiněna vnitřním třením, kdy odporové síly působí proti směru pohybu částic tekutiny. [1]

„Ideální kapalina je dokonale tekutá bez vnitřního tření a nestlačitelná.“[1]

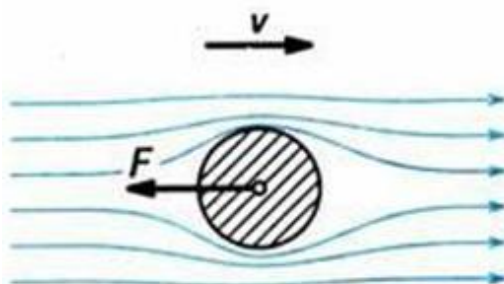
„Ideální plyn je dokonale tekutý bez vnitřního tření, ale dokonale stlačitelný.“[1]

## 1.2 Obtékání těles reálnou tekutinou

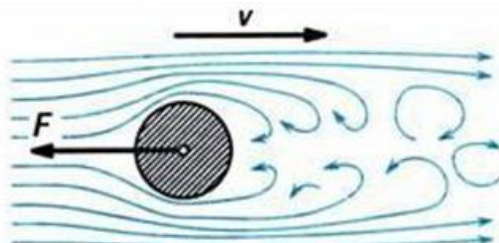
Obtékání vzniká při pohybu pevných těles a tekutin. Dochází k přemísťování mnoha částic tekutiny vzhledem k povrchu pevného tělesa. Dráha částice obtékající tekutiny (např. vzduchu) se nazývá proudnice. Proudnice se spojují do tzv. proudového svazku. Obtékání je složitým jevem. U reálných tekutin vznikají odporové síly, které působí proti směru pohybu tělesa v tekutině. V případě kapalin to jsou hydrodynamické odporové síly, v případě plynů aerodynamické odporové síly. Tento fyzikální jev nazýváme odporem prostředí. [1]

Obtékání těles při různé rychlosti tělesa:

- Při nízkých rychlostech  $v$  tělesa vůči tekutině dochází k laminárnímu proudění (Obr. 1). Jedná se o proudění, kde se proudnice nekříží a jsou rovnoběžné. Odporová síla  $F$  je malá a je úměrná relativní rychlosti. [1]
- Při vyšších rychlostech  $v$  tělesa vůči tekutině vzniká turbulentní proudění a za tělesem se vytváří víry. (Obr. 2) Tím dochází k velkému zvětšení odporové síly  $F$ . Její velikost roste s druhou mocninou relativní rychlosti. [1]



Obrázek 1: Obtékání při nízkých rychlostech–laminární proudění [1]



Obrázek 2: Obtékání při vyšších rychlostech–tvorba vírů–turbulentní proudění [1]



### 1.3 Aerodynamická odporová síla, součinitel odporu

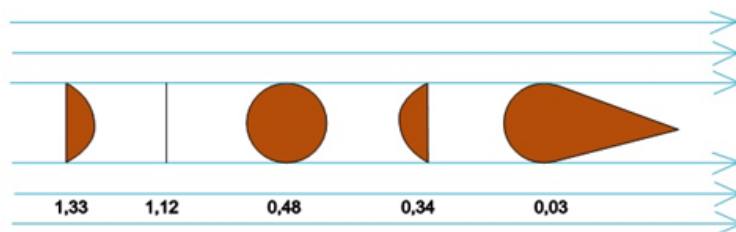
Aerodynamická odporová síla je síla působící proti proudu tekutiny. Její velikost závisí na rychlosti tělesa vůči tekutině a je definována Newtonovým vztahem, kde  $F$  označuje velikost odporové síly,  $S$  je obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu,  $v$  je relativní rychlost a  $\rho$  je hustota vzduchu. [1, 3]

$$F = \frac{1}{2}\rho Sv^2$$

Pro těleso libovolného tvaru je vztah doplněn o součinitel odporu  $C_x$ . Získáme tak vztah:

$$F = \frac{1}{2}C_x\rho Sv^2$$

Součinitel odporu  $C$  závisí na tvaru a povrchu tělesa. Vztah platí pro rychlosti nižší, než je rychlost vzduchu [1]. Nejvyšší je u duté polokoule (padák - na obrázku 3, první zleva), kde dutina je obrácena proti směru proudění. Nejmenší součinitel odporu  $C$  je u tělesa aerodynamického – proudnicového (ryba, pták, trup letadla, karoserie moderních automobilů). Hodnota součinitele odporu se pohybuje v rozmezí 1,33 – 0,03. (Obr. 3) [1, 3]



Obrázek 3: Hodnoty součinitele odporu u různých tvarů těles [4]

### 1.4 Základní pojmy aerodynamiky působící na karoserii automobilu

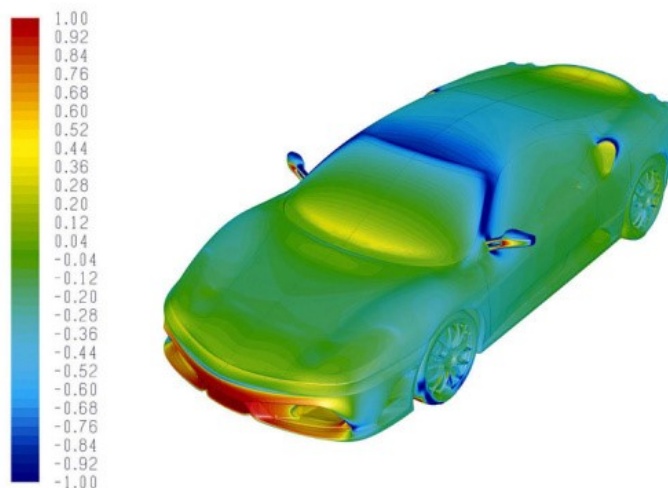
Na karoserii automobilu působí několik veličin, které ovlivňují jízdní vlastnosti automobilu.

#### 1.4.1 Silové pole

Silové pole je pole ukazující místa, kde je zvýšený tlak na karoserii automobilu. (Obr. 4) Červená místa ukazují, kde je karoserie vozu vystavena nejvyššímu zatížení. [2, 3]

#### 1.4.2 Rychlost obtékání, aerodynamický tlak

Rychlost obtékání se mění na základě průběhu a velikosti působícího tlaku. Aerodynamický tlak se dělí na statický, dynamický a celkový. Statický je tlak okolního

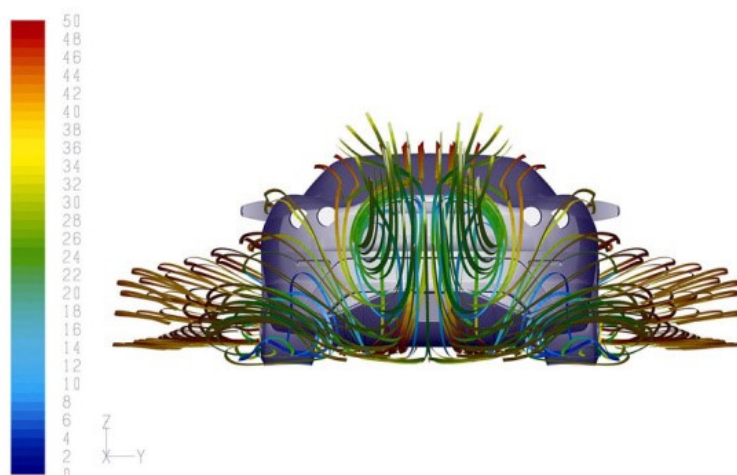


Obrázek 4: Tlakové pole automobilu Ferrari F430 Scuderia [5]

vzduchu v klidu. Dynamický je tlak přímo úměrný druhé mocnině rychlosti. Vzduch se pohybuje a dochází k poklesu statického tlaku. Celkový tlak je pak dán součtem statického a dynamického tlaku. [2, 3]

### 1.4.3 Typy proudění

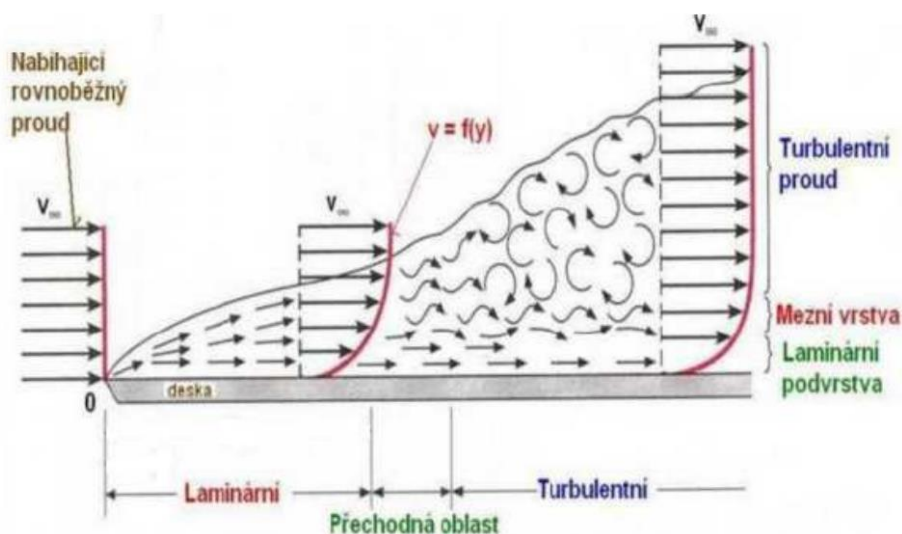
Podle tvaru proudnic (Obr. 5), dráha částic obtékající látky okolo tělesa, můžeme proudění rozdělit na laminární a turbulentní. Detainěji popsáno v kapitole 1.2 Obtékání těles reálnou kapalinou. V laminárním proudění se částice posouvají a nerotují. U turbulentního proudění je pohyb částic posuvný a vířivý. Ke vzniku turbulentního proudění dochází při určitém dosažení rychlosti – tj. dosažení hodnoty Reynoldsova kritického čísla. [2, 3]



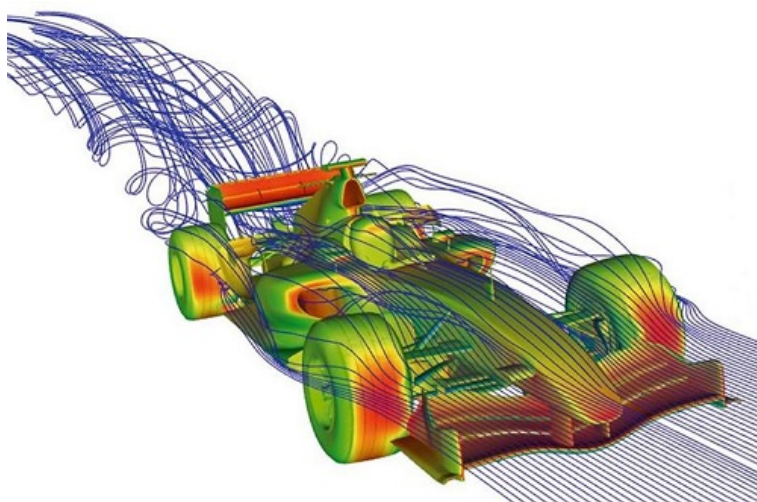
Obrázek 5: Tvar proudnic automobilu Ferrari F430 Scuderia [6]

#### 1.4.4 Mezní vrstva

Mezní vrstva je oblast proudění, která vzniká na povrchu každé obtékané části tělesa. Rychlost proudění se snižuje a na povrchu tělesa dosáhne až k nule. Rychlost je ovlivněna ulpíváním tekutiny na povrchu tělesa. Změna rychlosti uvnitř vrstvy určuje, zda se jedná o proudění laminární či turbulentní. Obtékání tělesa začíná jako laminární a se zvyšující se rychlostí a délkou se mění na turbulentní (Obr. 6). V místě přechodu se proudění postupně mění z laminárního – rovnoběžného na turbulentní – vířivé. Po krátký úsek existuje současně jak laminární tak turbulentní proudění. Změnu proudění v praxi na karoserii automobilu ukazuje obrázek (Obr.7). [2]



Obrázek 6: Vývoj mezní vrstvy při obtékání rovinné desky [2]



Obrázek 7: Změna proudění z laminárního na turbulentní na modelu automobilu [7]

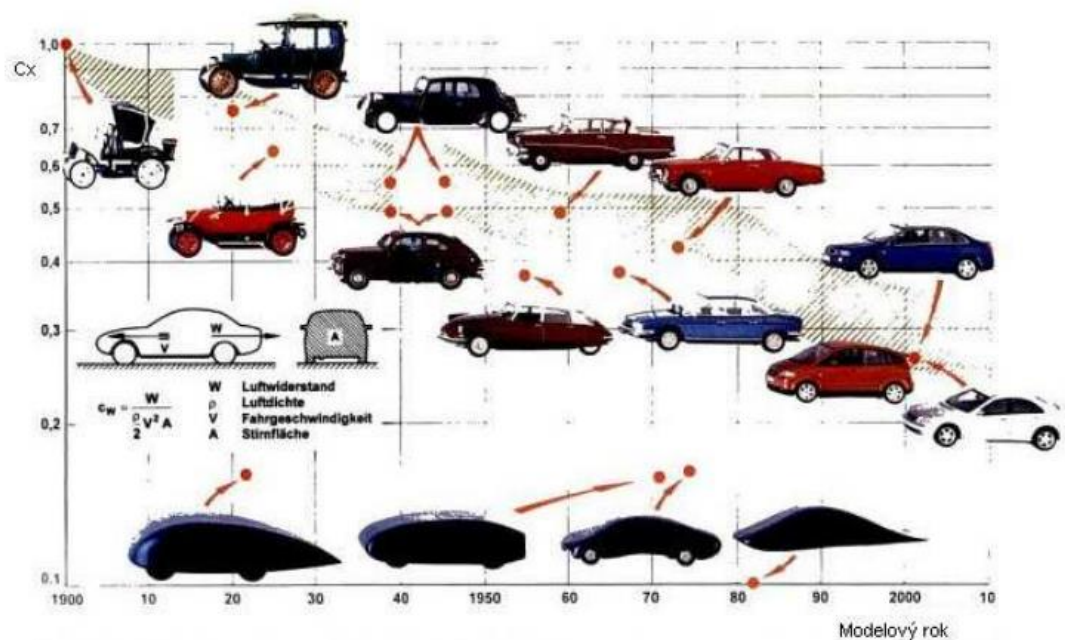
### 1.4.5 Koeficient aerodynamického odporu $C_x$

Koeficient (součinitel) aerodynamického odporu nebo také aerodynamický koeficient nebo tvarový koeficient je bezrozměrná veličina. Vyjadřuje kvalitu aerodynamického řešení příslušného tělesa, např. automobilu. Čím menší je hodnota  $C_x$ , tím menší odpor vzduchu na automobil působí. [2, 3]

Hodnotu aerodynamického koeficientu lze zjistit v aerodynamických tunelech. Velikost je shodná jak pro malý přesný model, tak i pro skutečný vůz. To znamená, že nezávisí na velikosti, ale pouze na tvarových vlastnostech vozu. Pro dosažení výborných dynamických vlastností a nízké spotřeby je nutné snižovat hodnoty aerodynamického odporu. Toho lze dosáhnout zlepšením aerodynamických vlastností vozu, celkovou úpravou tvaru karoserie či dílčími detaily na karoserii vozu. Velký vliv má velikost čelní plochy auta. U současně vyráběných vozidel se hodnota  $C_x$  pohybuje v rozmezí 0,26–0,35.[2, 3]

Nejnižší hodnotu koeficientu dnes ze sériově vyráběných vozidel mají BMW řady 5 G30 s koeficientem  $C_x = 0,22$ . Následuje TESLA Model 3, Mercedes CLA a AUDI A4 verze 3,0 TDI quattro s koeficientem  $C_x = 0,23$ . [8]

Během posledního století došlo k velkému posunu v tvarech karoserií automobilů. Je patrný posun směrem k oblým tvarům podporující snadnější proudění vzduchu okolo karoserie. Obr. 8 zachycuje vývoj od roku 1900.



Obrázek 8: Vývoj tvaru karoserie a vliv na aerodynamický koeficient [9]

Česká republika a výroba automobilů s výbornými aerodynamickými vlastnostmi má svoji tradici. Důkazem je model TATRA T77A (Obr. 9) s koeficientem  $C_x = 0,212$  z roku 1935 a ŠKODA OCTAVIA liftback s koeficientem  $C_x = 0,24$ . (Obr. 10) [8]



Obrázek 9: TATRA T77A z roku 1935 [10]



Obrázek 10: Škoda OCTAVIA liftback [11]

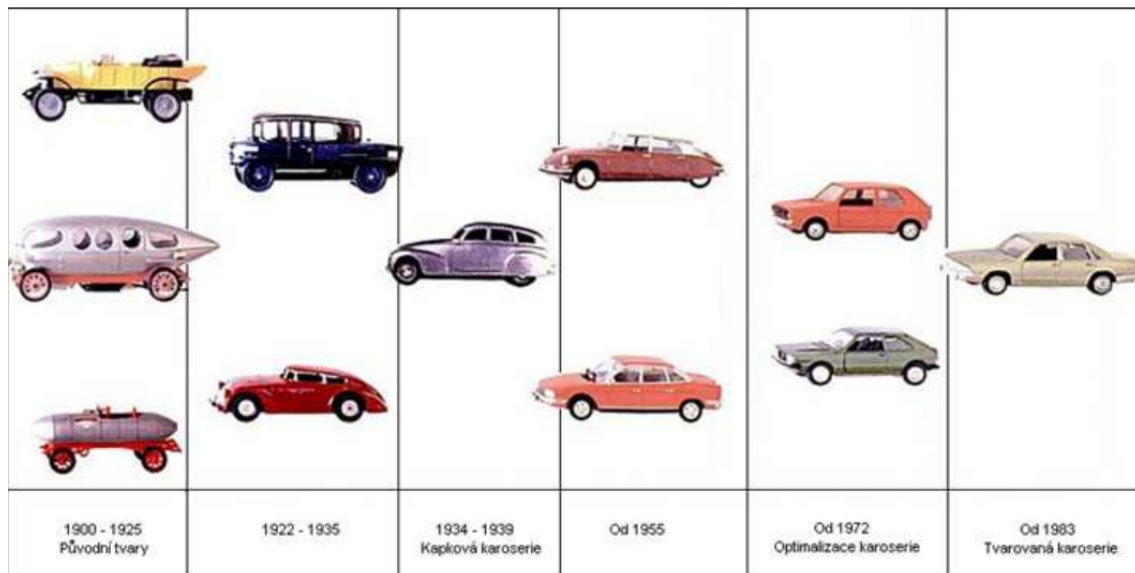
Druhou neméně důležitou částí jak lze snížit aerodynamický odpor při jízdě automobilu, je styl vlastní jízdy. Změnou stylu jízdy lze získat nemalou úsporu elektrické energie u elektromobilů či úsporu pohonných hmot u spalovacích motorů. Příkladem může být jízda s otevřenými okny, či otevřená posuvná střecha, kdy dochází k navýšení koeficientu odporu vzduchu  $C_x$  a také ke zvýšení spotřeby elektrické energie či jiných pohonných hmot.

## 1.5 Aerodynamika u automobilů

V dnešní době je aerodynamika u automobilů důležitým faktorem ke snižování nepříznivého vlivu na životní prostředí. Snižováním odporu automobilu za jízdy je snaha o menší energetickou náročnost, která se projevuje ve vyšší spotřeby paliva či emisí  $CO_2$ . Cílem je výroba automobilů co nejvíce šetrných k životnímu prostředí. Řešení se hledají nejen na úrovni efektivity motorů, ale právě i na úrovni aerodynamiky. Zde i drobnými změnami lze získat významné příspěvky k celkové



energetické náročnosti příslušného automobilu. Fyzikální zákony ukazují, že aerodynamický odpor roste s druhou mocninou rychlosti automobilu. Dříve, pro zvýšení jízdního výkonu a překonání aerodynamického odporu se měnily pouze hnací jednotky (motory) za výkonnější bez ohledu na ostatní parametry. V těchto dobách byla aerodynamika okrajovou záležitostí. Postupem času a v dnešní době energetické krize a důrazu na ochranu životního prostředí a udržitelnost je tato otázka u výrobců automobilů velmi aktuální. Hledají se nové vylepšení např. kryty kol, zadní odtrhovací hrana auta – zadní spoiler, čelní spoilery, zpětná zrcátka, světlá a mnoho dalších. Zadní hrana udržuje laminární proudění až za automobil, tím zabraňuje vzniku vířivého proudění vzduchu a tím snižuje aerodynamický odpor. Tvar světel, zpětných zrcátek nebo dveřních klik také ovlivňují proudění vzduchu okolo automobilu. Cílem je eliminovat vznik turbulentního proudění. Obrázek č.11 ukazuje vývoj tvaru karoserií od roku 1900. [2]



Obrázek 11: Vývoj tvaru karoserie od roku 1900 [12]

## 1.6 Praktická využitelnost aerodynamiky

V posledních letech je velký posun při vývoji nových automobilů. Ty jsou výrazně šetrnější k přírodě. Velký důraz je tak kladen na aerodynamické vlastnosti vozidel. Snížením odporu lepším tvarem karoserie lze dosáhnout významných úspor v ekonomickém provozu automobilů, menší náročnosti na pohonné hmoty tedy snížit spotřebu automobilu a tím získat významnou finanční úsporu. Obecně lze říci, že pokud se odpor vzduchu u jedoucího auta sníží o desetinu, poklesne tím jeho spotřeba paliva o 2,5 procenta.[3]

Jiným příkladem může být Opel Insignia 2.0 CDTi Ecoflex (Obr.12). „Ve větrném tunelu inženýři bojovali o každou desetinu koeficientu  $C_x$ . Již tak skvělý základ

$C_x=0,27$  se jim podařilo snížit o jednu desetinu. Zakrytí nádrže ze spodu vozidla ubralo 0,009, částečné zaslepení mřížky na masce ubralo 0,005, zaslepení štěrbin pod chladičem ubralo 0,001, úprava spoileru snížila koeficient o dalších 0,003. I taková bezvýznamná maličkost jako je plastický nápis na bočnici pneumatik Michelin Energy Saver zvýšila koeficient o 0,001 ve srovnání s holou maketou shodného rozměru i dezénu.“ [3]



Obrázek 12: Opel Insignia 2.0 CDTi Ecoflex [13]

Dalším příkladem je využití při vývoji automobilů značky ŠKODA, např. ŠKODA SCALA. Úpravy (Obr.13) jako průduchy v přední části karoserie, kola z lehkých slitin či správný sklon zadního střešního spoileru ukazují, jak několik drobných úprav v karoserii vozu dokáže výrazně zlepšit aerodynamiku automobilu a tím snížit součinitel odporu vzduchu.

# KAROSERIE

ŠKODA

## SCALA

VELMI NÍZKÝ SOUČINITEL  
ODPORU VZDUCHU  $C_x = 0,29$



### VZDUCHOVÁ CLONA AIR CURTAIN V PŘEDNÍM NÁRAZNIKU

Výhodou vzduchové clony Air Curtain je minimalizace úplavu za předními koly.

Tvar kanálu vzduchové clony Air Curtain byl vyvinut společně s designem kol. Jeho konečné podoby bylo dosaženo pomocí optimalizačních algoritmů a umělé inteligence.

Hlavní funkce vzduchové clony Air Curtain je optimalizovat proudění vzduchu kolem předního nárazníku.

Vzduch vstupuje do vzduchového kanálu v nárazníku a proudí kolem kol a boku vozu.

### AERODYNAMICKÁ KOLA Z LEHKÉ SLITINY

Aerodynamická kola jsou navržena tak, aby nabízel nejvyšší úroveň funkčnosti a atraktivní design. Zajišťují skvělé chlazení brzd, nízký odpor vzduchu a poskytují vyšší jízdní stabilitu. Při jejich vývoji byl použit superpočítač pro pokročilé simulace.



Otvory v disku kol zajišťují optimální chlazení brzd s minimálními negativními dopady na aerodynamické vlastnosti.

Paprsky kol jsou navrženy tak, aby maximalizovaly aerodynamický přínos.

### PLASTOVÝ STŘEŠNÍ SPOILER

Střešní spoiler minimalizuje aerodynamický odpor vozu a udržuje ideální přítlak. Splňuje aerodynamické požadavky, ale také zajišťuje řídicí skvělý výhled dozadu.

Finlety po stranách střešního spoileru snižují tvorbu vírů a odpor vzduchu.

Celý střešní spoiler byl navržen a testován ve virtuálním aerodynamickém tunelu. Jeho finální podoba je výsledkem mnoha provedených simulací.



Střešní spoiler upravuje proudění vzduchu za vozem tak, aby mělo optimální, symetrický tvar.

Obrázek 13: Úpravy karoserie ŠKODA SCALA pro snížení součinitele odporu vzduchu [14]



# PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části jsem se zaměřil na zkoumání vlivu tvaru a výšky karoserie modelu autíčka na jeho rychlost na modelové dráze. Chci dokázat, že aerodynamika má vliv na rychlost a chování modelu auta při jízdě na dráze. Toto zjistím pomocí opakovaných měření času na jedno kolo u modelů s různými typy karoserií a jejich výškami. Hledám závislost mezi tvarem, výškou karoserie a rychlostí a ovladatelností daného modelu.

## 2 METODIKA MĚŘENÍ

Pro své měření aerodynamických vlastností jsem si zvolil model auta, u kterého budu měnit jeho karoserie. Mám připraveny 4 typy různých karoserií, které používám pro stavbu svých závodních modelů pro jednotlivé závodní seriály. Každý typ karoserie jsem si připravil ve dvou výškách. Veškeré parametry a podmínky měření jsem zpracoval do jednotlivých částí, kde popisují dané vlastnosti.

### 2.1 Parametry měření

V praktické části jsem prováděl měření za daných parametrů a daných podmínek. Parametry jsem rozdělil na parametry prostředí, parametry dráhy, parametry modelu autíčka, parametry ovladače a parametry či metodiku vlastního měření. Vše jsem přehledně zpracoval do jednotlivých tabulek.

#### 2.1.1 Parametry prostředí

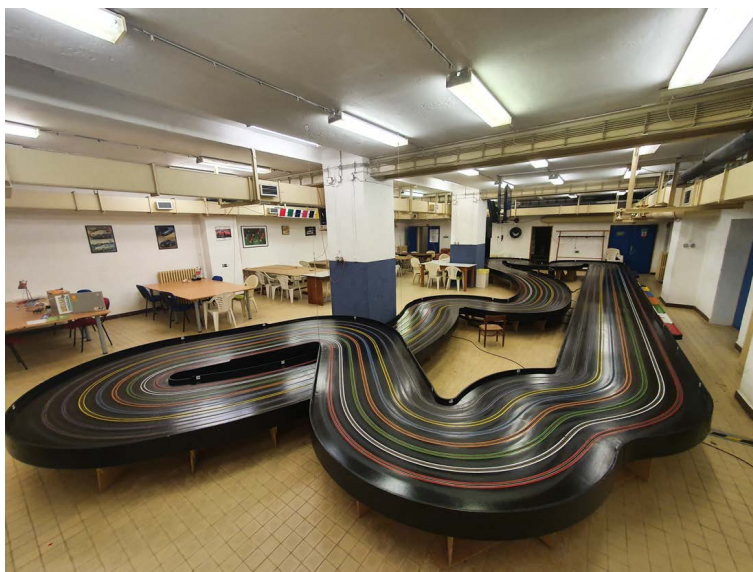
Parametry prostředí popisují prostředí, ve kterém jsem měření prováděl a po celou dobu měření byly tyto parametry konstantní.

Tabulka 1: Obecné parametry měření [15]

Datum	17.9.2022
Teplota	19,5 °C
Vlhkost	79 %
Dráha (Obr.14)	SCRC Pardubice, Erno Košťála 991, Pardubice

### 2.1.2 Parametry dráhy

Parametry dráhy jsou popsány v tabulce č. 2 a popisují dráhu, na které jsem měření prováděl, a po celou dobu měření byly tyto parametry konstantní.



Obrázek 14: Dráha SCRC Pardubice [15]

Dráha v klubu SCRC Pardubice byla postavena v roce 2009. Autorem dráhy je Gary Gerding z USA.



Lane	Total	Best	Last laps
1	0		
2	0		
3	0		
4	0		
5	12	4.347	5.055 5.517 5.251 5.325 5.391 4.347 4.621
6	0		
7	0		
8	0		

Countdown to end: 00:03:07

SpyTech Race Manager  
<http://www.spytech.cz>

Obrázek 15: SPYTECH race manager [15]

Čas jsem měřil pomocí softwaru SPYTECH, který zaznamenává jednotlivé časy na kolo.

Tabulka 2: Parametry dráhy pro měření [15]

Délka dráhy	48 m
Počet zatáček	10
Použitá drážka pro měření	Modrá
Napětí dráhy	13,01 V
Měřicí software (Obr.15)	SPYTECH race manager v.1.5 BETA 6

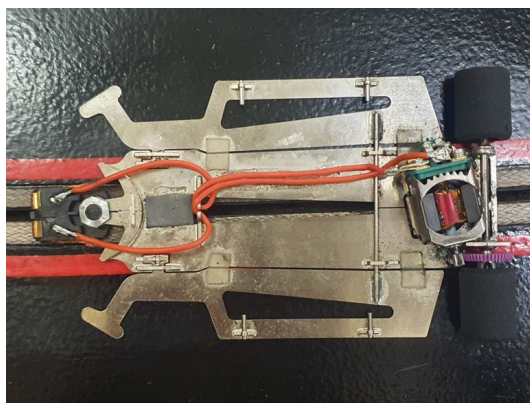
### 2.1.3 Parametry modelu autíčka

Parametry modelu autíčka popisují model autíčka, se kterým jsem prováděl měření. Model je sestaven dle pravidel pro seriál závodů HONDA CUP [16] z komponent uvedených v tabulce 3. Během měření nedošlo k žádné výměně žádné součástky na modelu auta. V rámci měření jsou měněny pouze typy a výšky karoserií dle předem definovaného pořadí – HONDA, LOLA, PORSCHE, PEUGEOT a nejdříve výška 36 mm a pak 38 mm.

Tabulka 3: Parametry dráhy pro měření [15]

Podvozek	typ HONDA 2022/6 Jaroslav Reček (Obr. 16, 17)
Motor	třída X-12 r.2021 – František Poledna
Převod	Cahoza 72P-44T-16°
Ložiska	kluzná zadní ložiska HRC
Pastorek	7 zubů na 1,5 mm hřídelka
Disky kol	CAHOZA – vnitřní průměr 10 mm, šíře 20 mm
Sběrače napětí	měděné Big mama – HRC
Vodítko	CAHOZA – modré – délka 27 mm
Pneumatiky	gumové válce, typ 4/15, výška pro světlost modelu 0,5-0,6 mm
Typy Karoserií	označení výrobce BPA Pavlíček, Pardubice
HONDA	označení HONDA cup 078
LOLA	označení LOLA LM EVO 091
PEUGEOT	označení P406BTC 054
PORSCHE	označení PORSCHE LM 055

Materiál, ze kterého jsou karoserie vyráběny, je znám pod názvem LEXAN. Jedná se o polykarbonát tloušťky 0,07 mm. Vlastní karoserie se vyrábí lisováním dle příslušné formy (výrobce a lisování BPA Pavlíček, Pardubice). Použité typy karoserií jsou: PEUGEOT (Obr. 18), HONDA (Obr. 19), LOLA (Obr. 20), PORSCHE (Obr. 21). Karoserie je stříkána speciálními barvami pro LEXAN. Použita je barva bílá PS-1 white a barva oranžová PS-24 fluorescent orange, TAMIYA COLOR – Tamiya America, Made in Japan.



Obrázek 16: Podvozek modelu – typ HONDA [15]



Obrázek 17: Podvozek modelu – typ HONDA [15]

Rozměry modelu autíčka jsou uvedeny v tabulce 4. Řídil jsem se pravidly pro seriál HONDA CUP [16] a po celou dobu měření byly konstantní.

Tabulka 4: Rozměry modelu autíčka [15]

Šířka modelu	Zadní kola – 83 mm
Výška modelu - karoserie	Zadní křídlo 36 a 38 mm

Výška modelu - karoserie 36 nebo 38 mm je měřena jako výška horní hrany zadní části karoserie směrem k podložce. Šířka modelu 83 mm je měřena jako vnější hrana disků zadních kol. Veškerá měření jsem prováděl pomocí digitálního posuvného měřítka Filletta 0-100 mm/0,01 mm. Jako kola jsou použity gumové válce s interním označením klubu SCRC Pardubice 4/15. Gumové válce jsou na plastové disky nalepeny pomocí lepidla PATTEX Chemoprén Extrém 50 ml pro namáhané spoje. Průměr kol je zvolen tak, aby světlost modelu – tj. vzdálenost mezi podvozkem auta při nasazených kolech a podložkou byla 0,5-0,6 mm. To zaručuje optimální jízdní vlastnosti modelu na dráze. Na příslušnou výšku jsou kola nabroušena bruskou kol ILPE Products for SLOT and RC cars.



Obrázek 18: Karoserie typ PEUGEOT [15]



Obrázek 19: Karoserie typ HONDA [15]



Obrázek 20: Karoserie typ LOLA [15]



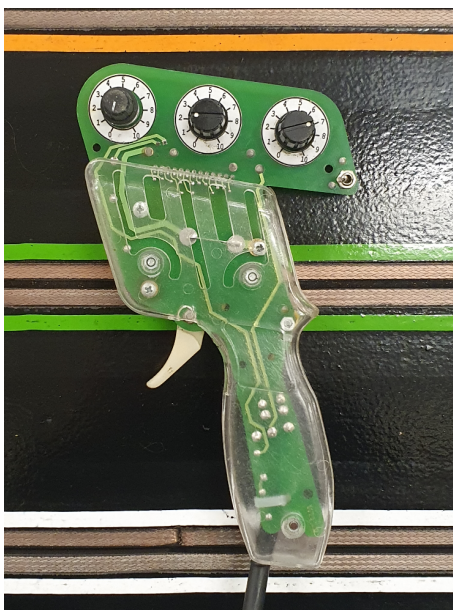
Obrázek 21: Karoserie typ PORSCHE [15]

#### 2.1.4 Parametry ovladače modelu

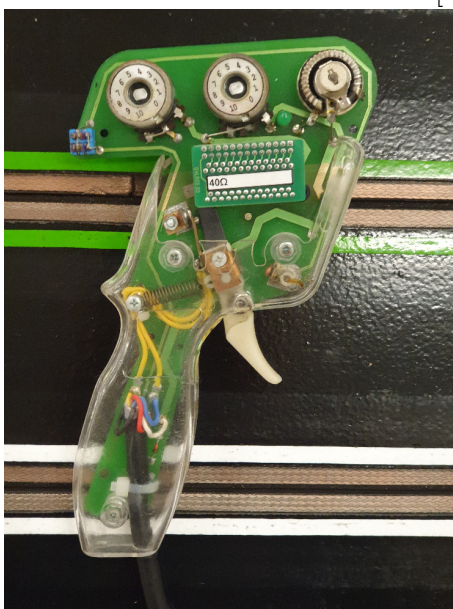
K ovládání modelu je použit elektronický ovladač JMS s možností nastavení jednotlivých parametrů pro optimální ovládání modelu při jízdě na dráze. Tabulka 5 ukazuje nastavení parametrů ovladače a ty byly po celou dobu měření konstantní.

Tabulka 5: Nastavení ovladače modelu pro měření (Obr. 22,23) [15]

Odporový prvek	40 ohmů
Brzda	0
Zrychlení	2
Relé	vypnuto
CHOKE	7



Obrázek 22: Nastavení ovladače [15]



Obrázek 23: Nastavení – odporový prvek [15]

Výrobce ovladače je JMS - Jiří Míček senior. Pro všechna měření je nastaveno stejné nastavení ovládacích prvků a stejný odporový prvek. (Obr. 22,23) [15]



### 2.1.5 Parametry a metodika vlastního měření

Při vlastním měření je použit vždy stejný model auta (specifikace dle tabulky 3 a 4) s příslušnou karoserií o výšce 36 mm nebo 38 mm. Předem je dáno pořadí a výška karoserie, se kterou model jezdí. První je typ HONDA ve výšce 36 mm, pak 38 mm. Následuje typ LOLA ve výšce 36 mm, pak 38 mm. Poté typ PORSCHE ve výšce 36 mm, pak 38 mm a nakonec typ PEUGEOT ve výšce 36 mm a 38 mm.

Pro svoje měření jsem si vybral modrou drážku a ovladač nastavil dle svých závodních zkušeností pro co nejplynulejší jízdu a snadné ovládání modelu. Nastavení ovladače ukazuje tabulka 5 a obr. 22 a 23. Modrá dráha je zvolena jako jedna ze středových drah dráhy, pro co nejplynulejší jízdu. Dobu jízdy jsem stanovil na 5 minut, tak abych na počátku model tzv. zajel a následné měření bylo co nejpresnější. Vždy jsem jezdil po celou dobu 5 minut a zaznamenal časy na jedno kolo u dvanácti za sebou zajetých kol bez přerušení. Časy na jedno kolo jsou měřeny a zaznamenávány automaticky pomocí závodního softwaru SPYTECH race manager v.1.5 BETA 6 (Obr. 15). Toto jsem opakoval pro každý typ karoserie a každou výšku karoserie. Celkem tedy bylo provedeno 8 měřených jízd. Použity byly 4 typy karosérií, každý typ ve dvou výškách 36 a 38 mm. Všechna měření jsem prováděl v jeden den po sobě.

### 2.1.6 Zápis hodnot a výpočty

Hodnoty časů  $[t] = s$  za jednotlivá kola a za všechna proběhlá měření jsem z automatického měřicího systému SPYTECH zaznamenal do příslušných tabulek dle typů karosérií a jejich výšky. Měření jsem prováděl na tři desetinná místa. Data z tabulek jsem přenesl do grafů.

Následně jsem vypočítal průměrný čas  $\bar{t}$  z naměřených hodnot u jednotlivých typů a výšek karosérií. Vypočítána je také odchylka jednotlivých měření od průměru, kvadrát odchylky a směrodatná odchylka. Vše jsem zapsal do příslušných tabulek.

Do závěrečné tabulky jsem shrnul všechna provedená měření a výpočty pro všechny typy i výšky karosérií. Data utřídil a následně zpracoval do grafu. K veškerým výpočtům a tvorbě grafů jsem využil software Microsoft Office–EXCEL.

Pro výpočet směrodatné odchylky jsem použil vzorec a výsledek zaokrouhlil na tři desetinná místa.

$$\bar{s}_x = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^k \Delta_n^2}{k(k-1)}} \Rightarrow \bar{s}_t = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{12} \Delta_n^2}{12(12-1)}}$$

Tabulka 6: Označení veličin

n	číslo měření
k	počet měření
$[t] = s$	naměřený čas
$\bar{t}$	průměrný čas z naměřených hodnot
$\frac{\Delta_n}{s}$	odchylka od průměru $\bar{t}$
$\frac{\Delta_n^2}{s^2}$	kvadrát odchylky od průměru $\bar{t}$
$\bar{s}_t$	vypočtená směrodatná odchylka

### 3 VÝSLEDKY

#### 3.1 Přehled výsledků měření

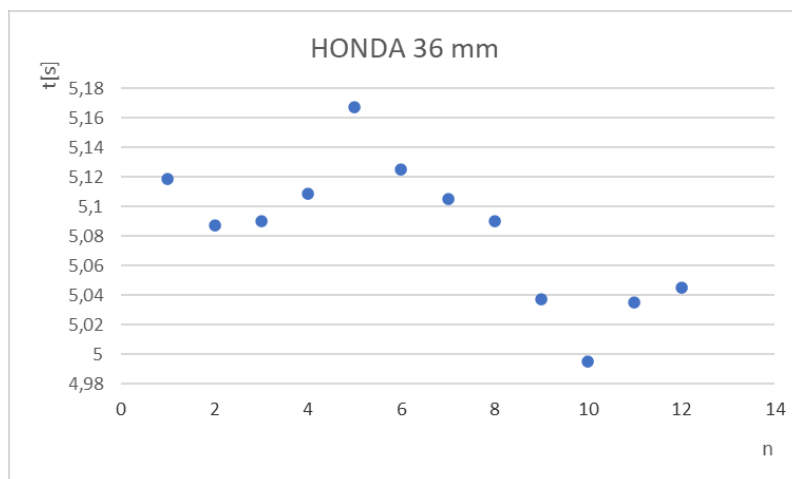
##### 3.1.1 Měření č.1 – Typ karoserie HONDA – 36 mm

První měření jsem prováděl s karoserií HONDA o výšce 36 mm (Obr. 25) jedná se o typ karoserie cestovních vozů.

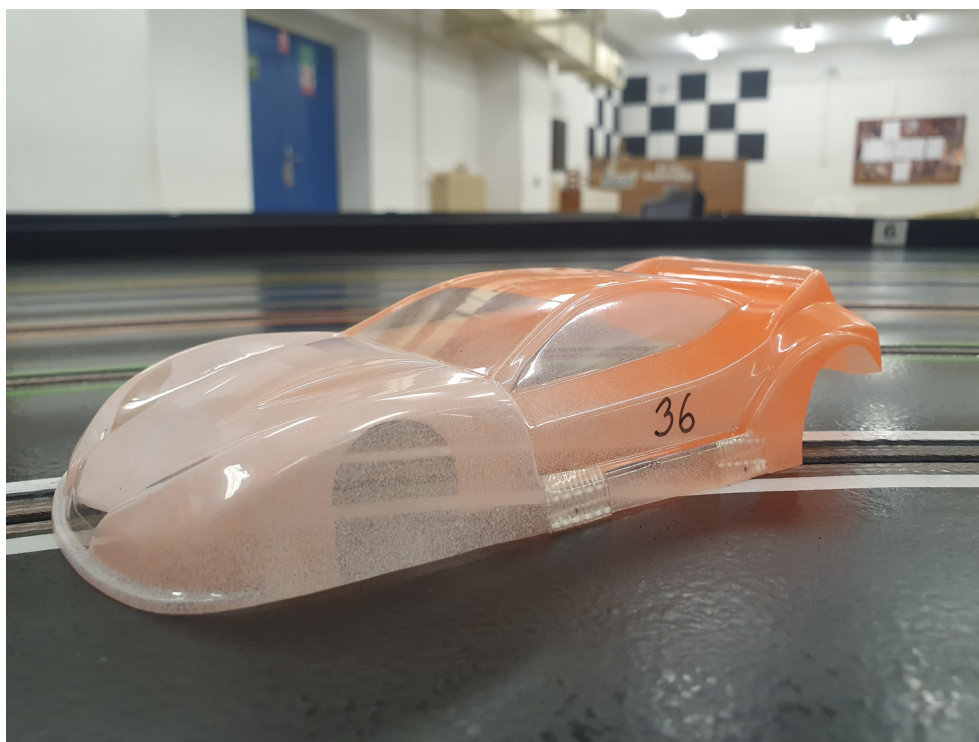
Tabulka 7: HONDA – 36 mm [15]

n	$[t] = s$	$\frac{\Delta_n}{s}$	$\frac{\Delta_n^2}{s^2}$
1	5,119	0,035	0,001225
2	5,087	0,003	0,000009
3	5,090	0,006	0,000036
4	5,109	0,025	0,000625
5	5,167	0,083	0,006889
6	5,125	0,041	0,001681
7	5,105	0,021	0,000441
8	5,090	0,006	0,000036
9	5,037	-0,047	0,002209
10	4,995	-0,089	0,007921
11	5,035	-0,049	0,002401
12	5,045	-0,039	0,001521
	$\bar{t} = 5,084 \text{ s}$ $\bar{s}_t = 0,014$		$\sum \Delta_n^2 = 0,024994 \text{ s}^2$

Legenda k tabulce 7: n - číslo kola,  $\bar{t}$  - průměrný čas,  $[t] = s$  - naměřený čas na kolo,  $\bar{s}_t$  - vypočtená směrodatná odchylka,  $\frac{\Delta_n}{s}$  - odchylka od průměru,  $\frac{\Delta_n^2}{s^2}$  - kvadrát odchylky od průměru.



Obrázek 24: Hodnoty času u karoserie HONDA – 36 mm [15]



Obrázek 25: Karoserie HONDA výška 36 mm [15]

Měření je prováděno i s karoserií HONDA o výšce 38 mm. Modelová karoserie je inspirována skutečným vozem Honda HSV-010 GT a nedisponuje žádnými podporujícími aerodynamickými prvky kromě zadního křídla. Vůz byl představen v roce 2010. Jde o závodní vůz japonské série Super GT v kategorii GT500. Již v první sezóně dokázal vyhrát týmový titul pro tým Weider. S tímto typem vozu závodilo 5 týmů. Do roku 2013 týmy s daným vozem vítězily a zajížděly výborné výsledky. Pro rok 2014 Honda přišla s novým typem závodního vozu NSX CONCEPT - GT, ten však nebyl tak úspěšný [17, 18, 19, 20, 21].

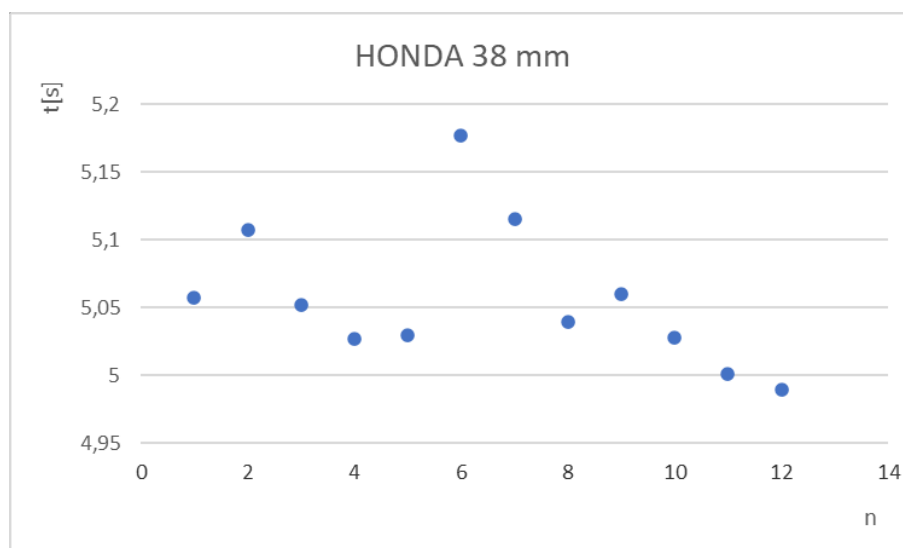
### 3.1.2 Měření č.2 - Typ karoserie HONDA – 38 mm

Druhé měření bylo s modelem a karoserií HONDA o výšce 38 mm.

Tabulka 8: HONDA – 38 mm [15]

n	$[t] = s$	$\frac{\Delta_n}{s}$	$\frac{\Delta_n^2}{s^2}$
1	5,057	0,000	0,000000
2	5,107	0,050	0,002500
3	5,052	-0,005	0,000025
4	5,027	-0,030	0,000900
5	5,030	-0,027	0,007290
6	5,177	0,120	0,014400
7	5,115	0,058	0,003364
8	5,040	-0,017	0,000289
9	5,060	0,003	0,000009
10	5,028	-0,029	0,000841
11	5,001	-0,056	0,003136
12	4,990	-0,067	0,004489
	$\bar{t} = 5,057 \text{ s}$ $\bar{s}_t = 0,017$		$\sum \Delta_n^2 = 0,037243 \text{ s}^2$

Legenda k tabulce 8: n - číslo kola,  $\bar{t}$  - průměrný čas,  $[t] = s$  - naměřený čas na kolo,  $\bar{s}_t$  - vypočtená směrodatná odchylka,  $\frac{\Delta_n}{s}$  - odchylka od průměru,  $\frac{\Delta_n^2}{s^2}$  - kvadrát odchylky od průměru.



Obrázek 26: Hodnoty času u karoserie HONDA – 38 mm [15]

Z měření časů na kolo vyplynulo, že model s karoserií HONDA o výšce 38mm je rychlejší než model s karoserií o výšce 36 mm.

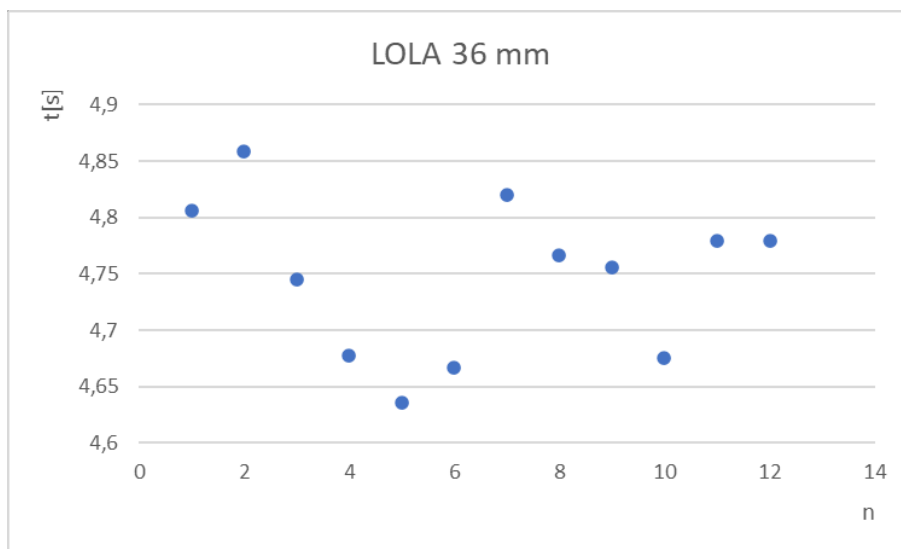
### 3.1.3 Měření č.3 – Typ karoserie LOLA – 36 mm

Třetí měření bylo provedeno s karoserií typu LMP1 - LOLA o výšce 36 mm (Obr. 28).

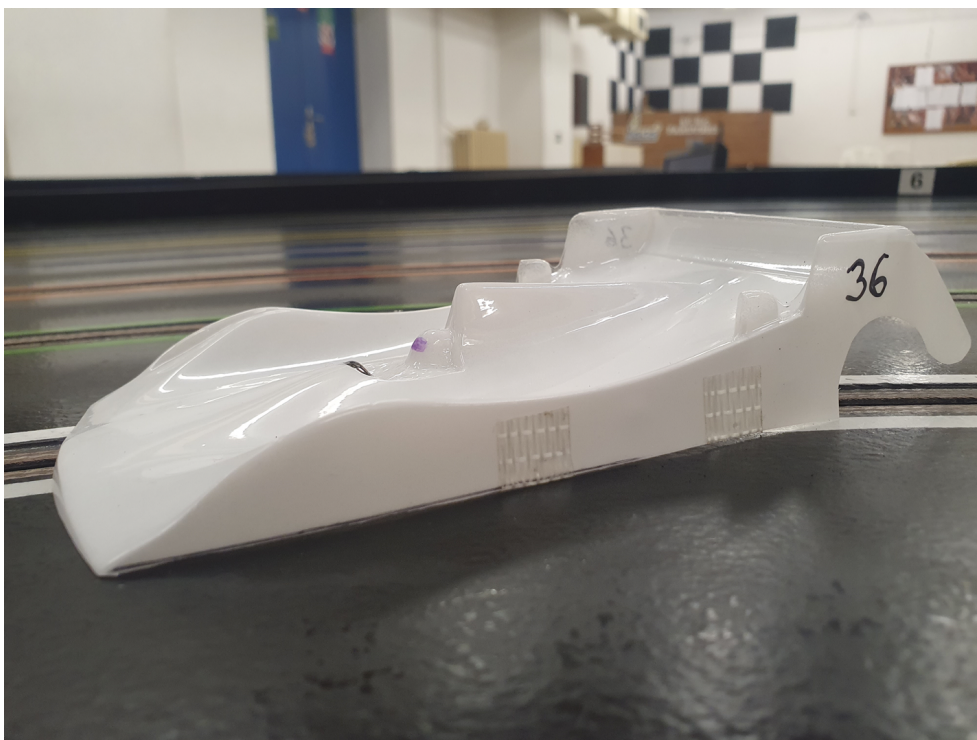
Tabulka 9: LOLA – 36 mm [15]

n	$[t] = s$	$\frac{\Delta_n}{s}$	$\frac{\Delta_n^2}{s^2}$
1	4,806	0,059	0,003481
2	4,859	0,112	0,012544
3	4,745	-0,002	0,000004
4	4,678	-0,069	0,004761
5	4,636	-0,111	0,012321
6	4,667	-0,080	0,006400
7	4,820	0,073	0,005329
8	4,766	0,019	0,000361
9	4,756	0,009	0,000081
10	4,675	-0,072	0,005184
11	4,779	0,032	0,001024
12	4,779	0,032	0,001024
	$\bar{t} = 4,747 \text{ s}$ $\bar{s}_t = 0,020$		$\sum \Delta_n^2 = 0,052514 \text{ s}^2$

Legenda k tabulce 9: n - číslo kola,  $\bar{t}$  - průměrný čas,  $[t] = s$  - naměřený čas na kolo,  $\bar{s}_t$  - vypočtená směrodatná odchylka,  $\frac{\Delta_n}{s}$  - odchylka od průměru,  $\frac{\Delta_n^2}{s^2}$  - kvadrát odchylky od průměru.



Obrázek 27: Hodnoty času u karoserie LOLA – 36 mm [15]



Obrázek 28: Karoserie LOLA výška 36 mm [15]

Měření bylo prováděno i s karoserií LOLA o výšce 38 mm. Modelová karoserie je inspirována skutečným vozem LOLA B98/10 LMP900. Vůz byl postaven v roce 1999 společností Lola Cars International jako cenově dostupný vůz kategorie LMP pro zákaznické týmy. Největším úspěchem je vítězství v závodě 24 hodin Le Mans a získání titulů mistrů světa FIA WSC v letech 2002 a 2003 [22, 23]. Lola je karoserie typu LMP1 a má výraznější zadní křídlo než karoserie cestovních vozů. Blatníky předních kol mají přidaný drobný aerodynamický prvek, který usměrňuje vzduch na zadní křídlo. Zadní křídlo karoserie LOLA již má boční vedení kolem křídla, ale je menší než u karoserie PORSCHE.

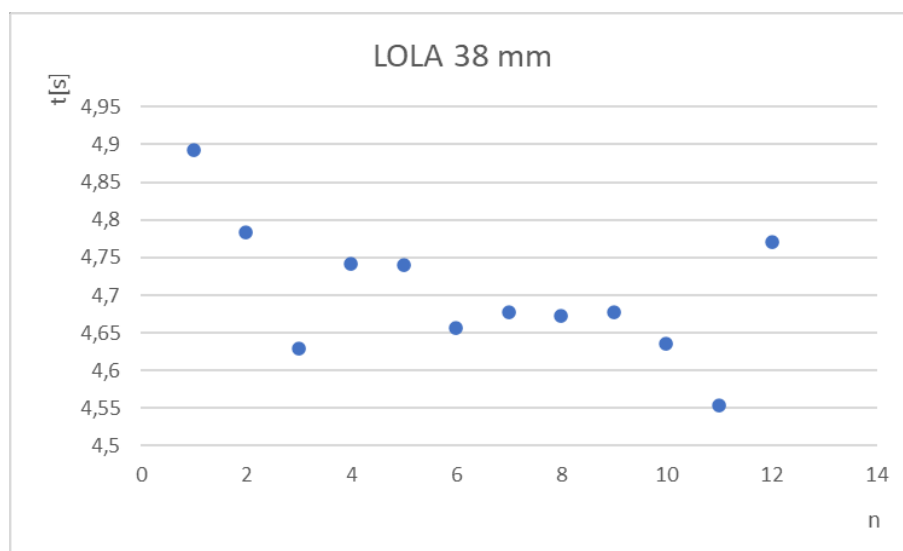
### 3.1.4 Měření č.4 – Typ karoserie LOLA – 38 mm

Jako čtvrtý jsem měřil model s karoserií LOLA s výškou 38 mm.

Tabulka 10: LOLA – 38 mm [15]

n	$[t] = s$	$\frac{\Delta_n}{s}$	$\frac{\Delta_n^2}{s^2}$
1	4,892	0,190	0,036100
2	4,783	0,081	0,006561
3	4,629	-0,073	0,005329
4	4,741	0,039	0,001521
5	4,740	0,038	0,001444
6	4,656	-0,046	0,002116
7	4,678	-0,024	0,000576
8	4,673	-0,29	0,008410
9	4,677	-0,025	0,000625
10	4,635	-0,067	0,004489
11	4,554	-0,148	0,021904
12	4,771	0,069	0,004761
	$\bar{t} = 4,702 \text{ s}$ $\bar{s}_t = 0,027$		$\sum \Delta_n^2 = 0,093836 \text{ s}^2$

Legenda k tabulce 10: n - číslo kola,  $\bar{t}$  - průměrný čas,  $[t] = s$  - naměřený čas na kolo,  $\bar{s}_t$  - vypočtená směrodatná odchylka,  $\frac{\Delta_n}{s}$  - odchylka od průměru,  $\frac{\Delta_n^2}{s^2}$  - kvadrát odchylky od průměru.



Obrázek 29: Hodnoty času u karoserie LOLA – 38 mm [15]

U modelů s karoserií LOLA dle naměřených časů byl rychlejší model s výškou 38 mm. Projevil se zde efekt zadního přítlačného křídla, které mají karoserie typu LMP1.



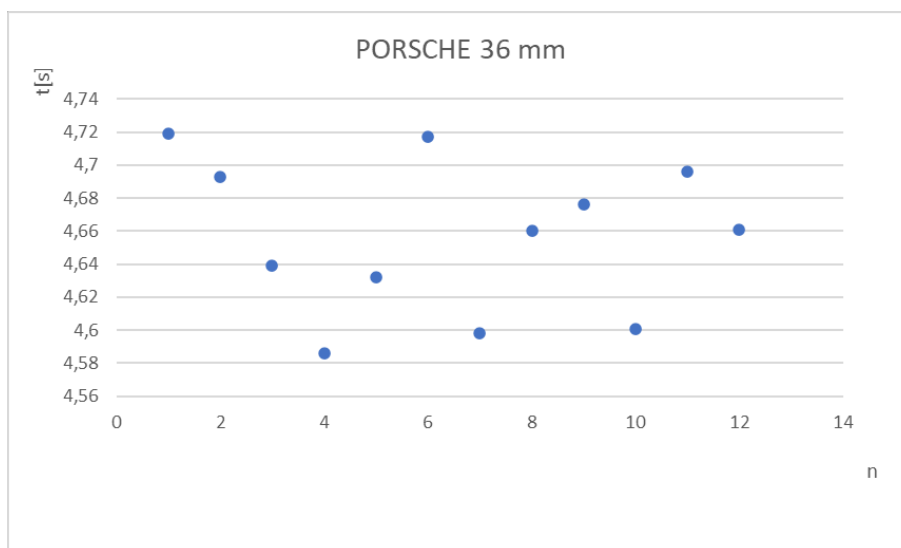
### 3.1.5 Měření č.5 – Typ karoserie PORSCHE – 36 mm

Páté měření jsem prováděl s druhým typem karoserie LMP1 - PORSCHE o výšce 36 mm (Obr. 31).

Tabulka 11: PORSCHE – 36 mm [15]

n	$[t] = s$	$\frac{\Delta_n}{s}$	$\frac{\Delta_{n^2}}{s^2}$
1	4,719	0,063	0,003969
2	4,693	0,036	0,001296
3	4,639	-0,018	0,000324
4	4,586	-0,071	0,005041
5	4,632	-0,025	0,000625
6	4,717	0,060	0,003600
7	4,598	-0,059	0,003481
8	4,660	0,003	0,000009
9	4,676	0,019	0,003610
10	4,601	-0,056	0,003136
11	4,696	0,039	0,001521
12	4,661	0,004	0,000016
	$\bar{t} = 4,657 \text{ s}$ $\bar{s}_t = 0,014$		$\sum \Delta_{n^2} = 0,026628 \text{ s}^2$

Legenda k tabulce 11: n - číslo kola,  $\bar{t}$  - průměrný čas,  $[t] = s$  - naměřený čas na kolo,  $\bar{s}_t$  - vypočtená směrodatná odchylka,  $\frac{\Delta_n}{s}$  - odchylka od průměru,  $\frac{\Delta_{n^2}}{s^2}$  - kvadrát odchylky od průměru.



Obrázek 30: Hodnoty času u karoserie PORSCHE – 36 mm [15]

Karoserie disponuje výrazným zadním přítlačným křídlem, které ovlivňuje jízdní vlastnosti modelu.



Obrázek 31: Karoserie PORSCHE výška 36 mm [15]

Měření je prováděno i s karoserií PORSCHE o výšce 38 mm. Modelová karoserie je inspirována skutečným vozem Porsche 911 GT1 - 98 1998 Le Mans. Jde o závodní vůz pro závody 24 hodin Le Mans v kategorii GT1. Vůz závodil v letech 1996 - 2003. Celkově se 81 krát umístil na stupních vítězů při celkovém počtu 135 závodů. To je 60% úspěšnost na získání stupňů vítězů [24]. Karoserie PORSCHE je typická svoji střední kabinou pro pilota. Zadní křídlo disponuje větším bočním vedením, než karoserie LOLA. Je tím vytvořen větší přítlak.

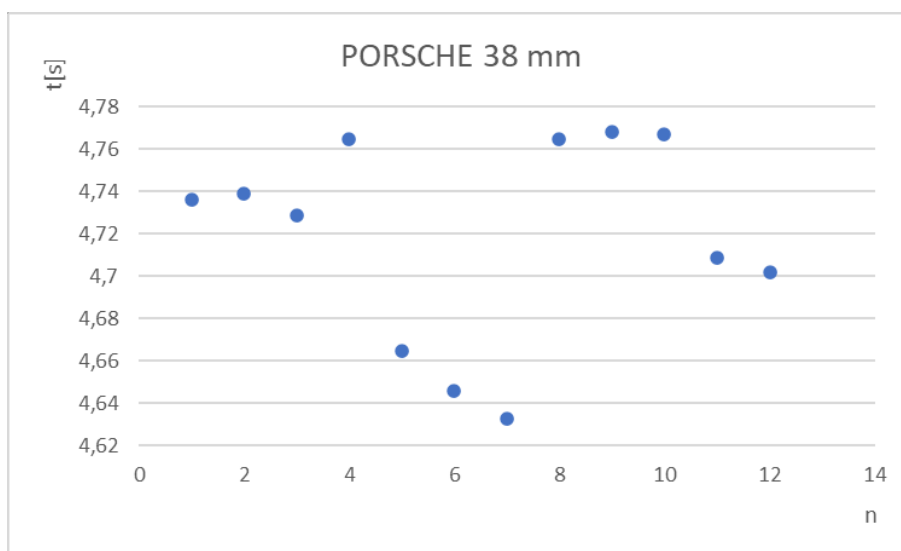
### 3.1.6 Měření č.6 – Typ karoserie PORSCHE – 38 mm

Měření č. 6 proběhlo s modelem PORSCHE s výškou 38 mm.

Tabulka 12: PORSCHE – 38 mm [15]

n	$[t] = s$	$\frac{\Delta_n}{s}$	$\frac{\Delta_n^2}{s^2}$
1	4,736	0,017	0,000289
2	4,739	0,020	0,000400
3	4,729	0,010	0,000100
4	4,765	0,046	0,000100
5	4,665	-0,054	0,002916
6	4,646	-0,073	0,005329
7	4,633	-0,086	0,007396
8	4,765	0,046	0,002116
9	4,768	0,049	0,002401
10	4,767	-0,048	0,002304
11	4,709	-0,010	0,000100
12	4,702	-0,017	0,000289
	$\bar{t} = 4,719 \text{ s}$ $\bar{s}_t = 0,014$		$\sum \Delta_n^2 = 0,025756 \text{ s}^2$

Legenda k tabulce 12: n - číslo kola,  $\bar{t}$  - průměrný čas,  $[t] = s$  - naměřený čas na kolo,  $\bar{s}_t$  - vypočtená směrodatná odchylka,  $\frac{\Delta_n}{s}$  - odchylka od průměru,  $\frac{\Delta_n^2}{s^2}$  - kvadrát odchylky od průměru.



Obrázek 32: Hodnoty času u karoserie PORSCHE – 38 mm [15]

Modely s karoserií PORSCHE jsou velmi rychlé. S výškou karoserie 36 mm rychlejší než u výšky 38 mm. Zde se již projevuje zvýšený přítlak na zadní křídlo, který ve výsledku model zpomaluje.

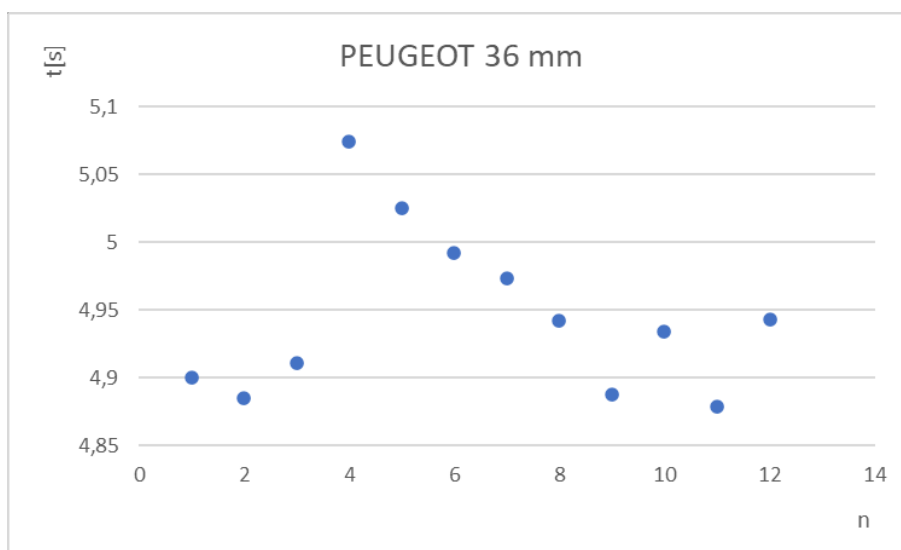
### 3.1.7 Měření č.7 - Typ karoserie: PEUGEOT – 36 mm

Sedmé měření jsem prováděl s modelem a karoserií PEUGEOT 36 mm (Obr. 34).

Tabulka 13: PEUGEOT – 36 mm [15]

n	$[t] = s$	$\frac{\Delta_n}{s}$	$\frac{\Delta_n^2}{s^2}$
1	4,900	-0,046	0,002116
2	4,885	-0,061	0,003721
3	4,911	-0,035	0,001225
4	5,074	0,128	0,016384
5	5,025	0,079	0,006241
6	4,992	0,046	0,002116
7	4,974	0,028	0,000784
8	4,942	-0,004	0,000016
9	4,888	-0,058	0,003364
10	4,934	-0,012	0,000144
11	4,879	-0,067	0,004489
12	4,943	-0,003	0,000009
	$\bar{t} = 4,946 \text{ s}$ $\bar{s}_t = 0,018$		$\sum \Delta_n^2 = 0,040609 \text{ s}^2$

Legenda k tabulce 13: n - číslo kola,  $\bar{t}$  - průměrný čas,  $[t] = s$  - naměřený čas na kolo,  $\bar{s}_t$  - vypočtená směrodatná odchylka,  $\frac{\Delta_n}{s}$  - odchylka od průměru,  $\frac{\Delta_n^2}{s^2}$  - kvadrát odchylky od průměru.



Obrázek 33: Hodnoty času u karoserie PEUGEOT – 36 mm [15]

Karoserie PEUGEOT patří typově k cestovním vozům. Na této karoserii jsou vidět drobné aerodynamické úpravy, které ovlivňují rychlost modelu.



Obrázek 34: Karoserie PEUGEOT výška 36 mm [15]

Měření je prováděno i s karoserií PEUGEOT o výšce 38 mm. Modelová karoserie je inspirována skutečným vozem Peugeot 406 Coupe BTC. Byl to závodní vůz v sezónách 2001 až 2002 pro závody British Touring Car Championship. Pro špatné výsledky se tovární tým Peugeot stáhl již v roce 2001 ze závodů. V roce 2002 s tímto vozem závodil tým bez tovární podpory [25, 26]. Karoserie PEUGEOT má nejvýraznější zadní křídlo z karoserií typu cestovních vozů. Disponuje také aerodynamickými křídélky na přídi vozu a bočními prolisy.

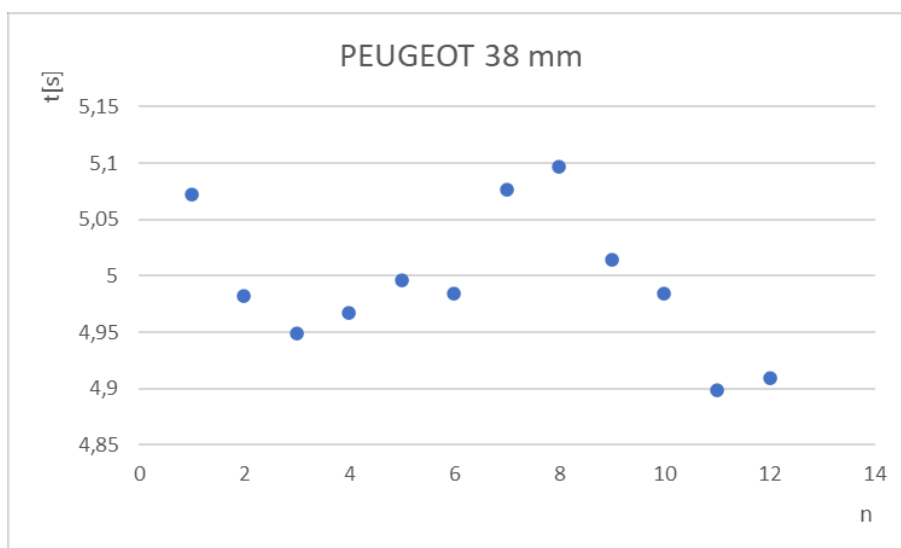
### 3.1.8 Měření č.8 – Typ karoserie PEUGEOT – 38 mm

Jako poslední měření jsem měřil čas u modelu s karoserií PEUGEOT o výšce 38 mm.

Tabulka 14: PEUGEOT – 38 mm [15]

n	$[t] = s$	$\frac{\Delta_n}{s}$	$\frac{\Delta_{n^2}}{s^2}$
1	5,072	0,078	0,006084
2	4,982	-0,012	0,000144
3	4,949	-0,045	0,002025
4	4,967	-0,027	0,000729
5	4,996	0,002	0,000004
6	4,984	-0,010	0,000100
7	5,076	0,082	0,006724
8	5,097	0,103	0,010609
9	5,014	0,020	0,000400
10	4,984	-0,010	0,000100
11	4,899	-0,095	0,009025
12	4,909	-0,085	0,007225
	$\bar{t} = 4,994 \text{ s}$ $\bar{s}_t = 0,018$		$\sum \Delta_{n^2} = 0,043169 \text{ s}^2$

Legenda k tabulce 14: n - číslo kola,  $\bar{t}$  - průměrný čas,  $[t] = s$  - naměřený čas na kolo,  $\bar{s}_t$  - vypočtená směrodatná odchylka,  $\frac{\Delta_n}{s}$  - odchylka od průměru,  $\frac{\Delta_{n^2}}{s^2}$  - kvadrát odchylky od průměru.

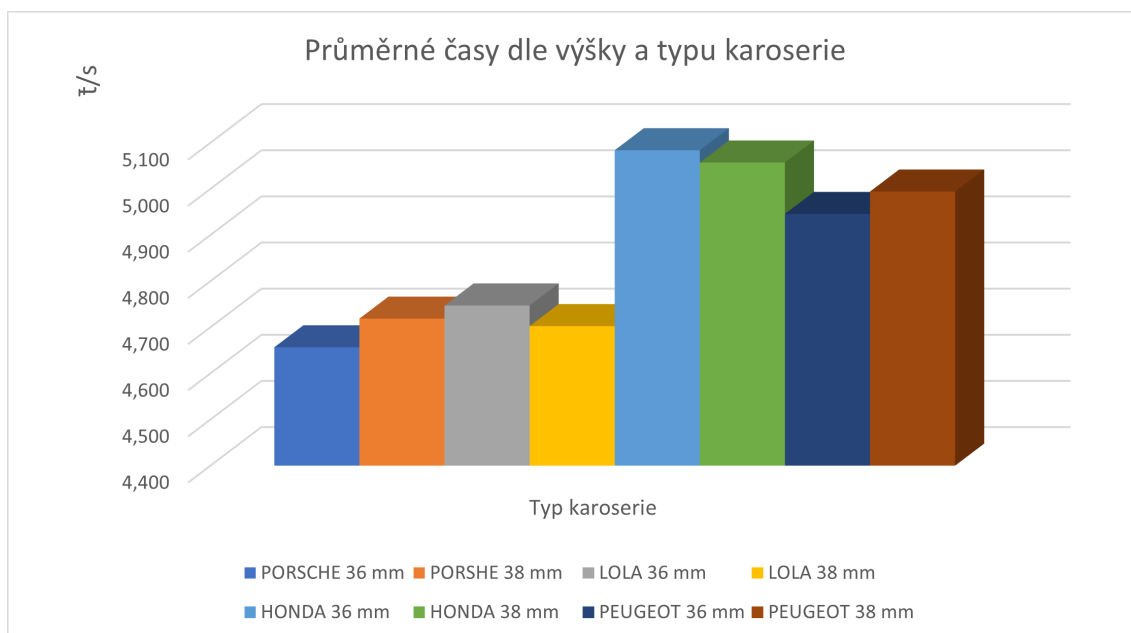


Obrázek 35: Hodnoty času u karoserie PEUGEOT – 38 mm [15]

Měření času ukázala, že model s karoserií PEUGEOT je rychlejší ve výšce 36 mm a projevují se zde drobné aerodynamické úpravy v přední a boční části karoserie.

### 3.2 Souhrn výsledků naměřených časů a jejich porovnání

Závěrečná tabulka zobrazuje souhrn naměřených hodnot časů za jednotlivá kola u jednotlivých typů a výšek karoserií. Je vypočítána průměrná hodnota času na jedno kolo u jednotlivých typů a výšek karoserií. Dále je vypočtena směrodatná odchylka z naměřených hodnot.



Obrázek 36: Průměrné hodnoty času v závislosti na typu a výšce karoserie [15]

Z naměřených hodnot časů na jedno kolo vyplývá, že modely s karoseriemi typu LMP1 jsou rychlejší než s karoseriemi typu cestovních vozů. Neplatí, že model s nižší karoserií je rychlejší než s vyšší. Rozdíly jsou také v ovladatelnosti jednotlivých modelů. Například model s karoserií PEUGEOT je ovladatelnější a rychlejší než modely s karoserií HONDA. Projevují se zde aerodynamické dílčí úpravy karoserie PEUGEOT. V přední části křídélka, v boční prolisy a v zadní pak tvar zadního křídla. U typů karoserií LMP1 - LOLA i PORSCHE je rozhodující přítlak na zadní křídlo. Nejefektivnější je u karoserie LOLA - 38 mm a PORSCHE - 36 mm. U PORSCHE 38mm je přítlak vyšší a model již není tak rychlý a zajížděl pomalejší časy na kolo než LOLA o výšce 38 mm.

Tabulka 15: Souhrn naměřených časů pro všechny typy a výšky karoserií [15]

Typ karoserie:	PORSCHE	PORSCHE	LOLA	LOLA	HONDA	HONDA	PEUGEOT	PEUGEOT
Výška karoserie:	36 mm	38 mm	36 mm	38 mm	36 mm	38 mm	36 mm	38 mm
n	[t] = s	[t] = s	[t] = s	[t] = s	[t] = s	[t] = s	[t] = s	[t] = s
1	4,719	4,736	4,806	4,892	5,119	5,057	4,900	5,072
2	4,693	4,739	4,859	4,783	5,087	5,107	4,885	4,982
3	4,639	4,729	4,745	4,629	5,090	5,052	4,911	4,949
4	<b>4,586</b>	4,765	4,678	4,741	5,109	5,027	5,074	4,967
5	4,632	4,665	<b>4,636</b>	4,740	5,167	5,030	5,025	4,996
6	4,717	4,646	4,667	4,656	5,125	5,177	4,992	4,984
7	4,598	<b>4,633</b>	4,820	4,678	5,105	5,115	4,974	5,076
8	4,660	4,765	4,766	4,673	5,090	5,040	4,942	5,097
9	4,676	4,768	4,756	4,677	5,037	5,060	4,888	5,014
10	4,601	4,767	4,675	4,635	<b>4,995</b>	5,028	4,934	4,984
11	4,696	4,709	4,779	<b>4,554</b>	5,035	5,001	<b>4,879</b>	<b>4,899</b>
12	4,661	4,702	4,779	4,771	5,045	<b>4,990</b>	4,943	4,909
$\bar{t}_s$ = průměrný čas na kolo	4,657	4,719	4,747	4,702	5,084	5,057	4,946	4,994
$\bar{s}_t$ = směrodatná odchyška	0,014	0,014	0,020	0,027	0,014	0,017	0,018	0,018

Legenda k tabulce 15: n - číslo kola,  $\bar{t}$  - průměrný čas,

[t] = s - naměřený čas na kolo,  $\bar{s}_t$  - vypočtená směrodatná odchyška



V uvedené tabulce jsem tučně označil nejrychlejší časy na kolo, které model zajel s příslušnou karoserií o dané výšce. Nejrychlejší čas ze všech byl naměřen u modelu s karoserií LOLA ve výšce 38 mm. Čas byl o více jak tři setiny sekundy rychlejší než druhý nejrychlejší, který zajel model s karoserií PORSCHE ve výšce 36 mm.

Časy modelů s karoserií cestovních vozů HONDA se u obou výšek pohybovaly okolo hranice 5 sekund. Modely s karoserií PEUGEOT byly rychlejší a naměřené časy jsou více pod hranicí 5 sekund. Ukazují se tak lepší aerodynamické vlastnosti karoserie PEUGEOT.

Modely s typem karoserie LMP1 - LOLA, PORSCHE byly časy přibližně o 0,5 sekundy na kolo rychlejší než modely s typem karoserie cestovních vozů HONDA, PEUGEOT. U karoserií LMP1 ve výšce 36 mm jsou patrné větší rozdíly mezi nejrychlejším a nejpomalejším časem než u typu LMP1 ve výšce 38 mm.

Vypočítaná směrodatná odchylka se pohybuje v setinových hodnotách v rozmezí 0,014 - 0,027 což považuji za údaj ukazující přesnost měření.

## DISKUZE

Ve své práci jsem si dal za cíl nalézt závislost mezi tvarem karoserie a rychlostí modelu auta při jízdě na autodráze. Současně jsem si chtěl ověřit aerodynamické vlastnosti karoserií vyplývajících z jejich tvaru a výšky. Záměrně jsem si pro svoji práci zvolil dva odlišné tvarové typy karoserií. Jeden typu Le Mans Prototype (LMP1) s velkým přitlačným křídlem a druhý typ cestovního vozu. Měřením jsem si chtěl dokázat, potvrdit či vyvrátit osobní zkušenosti ze stavby modelů autíček pro jednotlivé kategorie závodů, kde jsou využívány různé typy karoserií. Stavbou modelů a závoděním s nimi se zabývám od roku 2013, od kdy jsem členem Svazu modelářů České republiky a klubu Junior Hradec Králové, později SCRC Pardubice.

V rámci své práce jsem dané téma probíral se staršími a zkušenějšími modeláři a závodníky v našem i ostatních klubech a načerpal mnoho zajímavých informací a podnětů ke stavbě svých modelů.

Některé poznaky o aerodynamice jsem čerpal z bakalářské práce Milana Kubíčka na téma „Aerodynamika vozidel“ z roku 2011 [2]. Práce se zabývala obtékáním modelu vozidla a měřením odporové síly při různém náklonu zadního přitlačného křídla. Je patrné, že správná poloha zadního křídla výrazně ovlivňuje hodnotu odporové síly.

Zajímá mě také aktuální vývoj a trendy ve výrobě automobilů v České republice. Čerpal jsem z internetových stránek automobilky ŠKODA Auto a. s., které se zabývají aerodynamikou vozů ŠKODA [14]. Zde jsou ukázány, jak i drobné změny na karoserii dokáží přinést velký efekt jak po stránce jízdní tak i ekonomické.

Vlastní zkušenosti mám i ze svého měření u karoserie PEUGEOT, kde malé úpravy v přední části, křídélka, v boční části prolisy vedoucí vzduch na zadní křídlo, měly významný vliv na rychlost a ovladatelnost modelu oproti modelu HONDA.

Součástí mé práce je také najít optimální výšku daného typu karoserie pro nejlepší závodní jízdu příslušného modelu na závodní dráze. K měření jsem si vybral 4 typy nejpoužívanějších karoserií pro závodní seriály a mistrovství České republiky ve slot racingu. Pro měření jsem zvolil výšku 36 a 38 mm a měřil rychlost modelu při dané výšce.

Měření jsem prováděl na dráze našeho klubu SCRC Pardubice za definovaných podmínek v jeden den. Podmínky a metodika měření, nastavení dráhy, parametry modelu, typy a výška karoserií jsou přesně specifikovány a určeny. Měření každého typu karoserie a výšky karoserie probíhalo 5 minut a vždy na stejné drážce autodráhy. Automaticky byly zaznamenávány hodnoty časů na jedno kolo vždy u dvanácti po sobě zajetých kol bez vypadnutí. Hodnoty byly měřeny závodním softwarem, který je součástí každé závodní dráhy, kde probíhají závody či mistrovství ve slotracingu. Hodnoty časů jsem dále zpracoval a získal cenná data pro jednotlivé typy karoserií, které mohou dále využít pro stavbu svých závodních modelů.

Z dat vyplynulo, že tvar karoserie, ale i dílčí detaily karoserie mají vliv na rychlost modelu. Potvrdilo se, že modely s karoserií typu LOLA a PORSCHE, tj. ty,

kteřé mají výrazné zadní přítlačné křídlo (typ LMP1), jsou aerodynamicky výhodnější a jejich rychlost byla vyšší právě díky přítlaku na zadní křídlo modelu. Zde se také ukázalo, že pro optimální rychlost a stabilitu modelu je důležité najít optimální výšku – tj. výšku zadního křídla. Ta je však u každého typu karoserie odlišná, jak ukazují naměřené hodnoty. Pro model s karoserií PORSCHE je výhodnější výška 36 mm naopak u karoserie LOLA 38 mm. U PORSCHE s karoserií o výšce 38 mm je již vliv nadměrného přítlaku na zadní křídlo a model je tak brzděn.

U modelů cestovních vozů typ karoserie HONDA a PEUGEOT jsou vidět vyšší zajeté časy na dráze oproti typům s výraznými přítlačnými křídly (typ LMP1). U těchto typů je zajímavé, že i malé detaily mají velký aerodynamický význam pro rychlost modelu auta. Typ karoserie PEUGEOT se vyznačuje v přední části aerodynamickými křídélky a boční část je výrazněji prolisována směrem k zadnímu křídlu. Tím má lepší aerodynamické vlastnosti a snadnější obtékání vzduchu okolo modelu při jízdě než typ HONDA. Opět u obou těchto modelů platí, že optimální výška karoserie u obou typů je odlišná. Model s karoserií PEUGEOT je rychlejší ve výšce 36 mm, HONDA má lepší vlastnosti ve výšce 38 mm.

Při jízdě na dráze s jednotlivými modely se ukázalo, že vyšší výška modelu někdy vede pocitově ke stabilnější a klidnější jízdě. To ukazují naměřené časy u karoserií HONDA a LOLA ve výšce 38 mm. Tohoto mohu využít zejména při delších závodech.

Do budoucna bych svoji práci rád rozšířil a doplnil i o porovnání s dalšími typy karoserií – typ VW G60 CORADO, typ LOLA – nová řada či PEUGEOT – starý typ rok 2018. Dále bych se rád zaměřil na odlišnosti v detailech karoserií a zjistil jejich vliv na rychlost modelu s danou karoserií. Určitě by bylo zajímavé rozšíření práce i na jiné závodní dráhy, zda se výsledky potvrdí i v prostředí drah s více zatáčkami či naopak více rovinkami.

V praxi jsem si ověřil vliv aerodynamiky na jízdní vlastnosti modelu, poznal jsem i možnosti využití aerodynamiky v praxi a její využití v automobilovém průmyslu. Při studiu teoretické části mě překvapilo, že Česká republika, jako malá země, dosahuje výborných výsledků v aerodynamice automobilů. Stále se můžeme chlubit autem s jedním z nejnižších koeficientů odporu na světě – TATRA T77A a i nové modely zn. ŠKODA – SCALA, KAROQ, ENYAQ iV patří po stránce aerodynamiky ke špičkovým modelům. V aerodynamice se můžeme porovnávat s velkými automobilovými značkami po celém světě.

## ZÁVĚR

Jako cíl své práce jsem si dal ověřit vliv tvaru a výšky karoserie modelu auta na jeho rychlost a jízdní vlastnosti a ovladatelnost modelu auta na dráze. Ukázalo se, že jízdní vlastnosti modelu auta s různými karoseriemi jsou různé. U modelů aut s karoseriemi, které využívají aktivní aerodynamické prvky byla dosažena vyšší rychlost, tedy nižší čas na kolo. Modely s některými typy karoserií se jevíly stabilnější. Významným aerodynamickým prvkem je zadní křídlo, které vytváří vyšší přítlak a tím napomáhá rychlosti a stabilitě modelu auta. Jedná se o typ karoserie LOLA a POSCHE. Vliv výšky karoserie je pouze omezený na rychlost modelu. Tohoto se využívá u závodních aut typu LMP1. U typů karoserií PEUGEOT a HONDA byl rychlejší model s karoserií PEUGEOT v nižší výšce. U tohoto typu jsou využívána malá aerodynamická křídélka na přední karoserie, která mají zajímavý aerodynamický efekt.

Dle provedených měření jsem určil pořadí typů karoserií dle aerodynamických vlastností. Nejlepší vlastnosti má karoserie typu PORSCHE následuje LOLA, poté PEUGEOT a HONDA. Povedlo se mi ověřit předpoklad, že typy karoserií se zadními přítlačnými křídly, to jsou LOLA a PORSCHE, mají lepší aerodynamické vlastnosti a jsou při jízdě na dráze rychlejší.

I přesto, že jsem prováděl měření pouze na své domácí dráze, výsledky ukazují, že tvar karoserie má vliv na rychlost a jízdní vlastnosti modelu auta.

I když mohly vzniknout určité nepřesnosti při měření, zejména při ručním ovládní modelu pomocí ovladače, které se mohly projevit na naměřených časech, považuji svoji práci za průkaznou. Prokázal jsem, že tvar i výška karoserie ovlivňuje jízdní vlastnosti modelu auta. Považuji za průkazné, že aerodynamické vlastnosti jednotlivých typů karoserií jsou odlišné a tím i odlišné časy na jedno kolo zajeté modely aut na dráze.

Aerodynamická měření se v praxi využívají při vývoji a výrobě cestovních vozů. Příkladem mohou být vozy značky ŠKODA, model SCALA, jak je uvedeno na konci teoretické části.

Ve své práci jsem si dokázal a potvrdil, že tvar karoserie, výška karoserie či různé komponenty na karoserii mají vliv na aerodynamické vlastnosti modelu auta. Projevují se na jeho rychlosti a komfortu ovládní. Své znalosti získané měřeními tak mohu lépe přenést do stavby svých modelů pro závody na dráze a dosahovat tím lepší výsledky. To, co já si mohu vyzkoušet v tréninkových podmínkách modelů svých aut a použít pro závody na dráze, je aplikovatelné i pro výzkum a vývoj nových závodních či cestovních vozů. Velké automobilové značky mají celá oddělení zabývající se aerodynamickými vlastnostmi jednotlivých částí vozů. Snaží se dosáhnout co nejlepších výsledků jak v jízdních, tak ekonomických ukazatelích.

Pro mě osobně je toto první zkušeností se zpracováním určitého tématu do formy takovéto práce. Jsem si vědom, že tato práce může mít určité chyby a nepřesnosti. Naučil jsem se řadu nových věcí, řadu odborných otázek jsem diskutoval s kolegy v našem klubu a jsou pro mě přínosem do dalšího studia a budoucích závodů.

# LITERATURA

- [1] Svoboda, E. a kol. *Přehled středoškolské fyziky. 4., upravené vydání.* Praha: Prometheus, 2008. ISBN: 978-80-7196-475-9.
- [2] Kubíček, M. *Bakalářská práce 2011, Aerodynamika vozidel, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.* [online], [cit. 2022-10-27]. URL: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/39246/KubicekM\\_Aerodynamika%5C%20vozidel\\_GK\\_2011.pdf](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/39246/KubicekM_Aerodynamika%5C%20vozidel_GK_2011.pdf).
- [3] Ing. Sajdl, J. Ph.D. *Aerodynamika.* [online], [cit. 2022-11-20]. URL: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/aerodynamika/>.
- [4] eluc.ikap.cz. *Hodnoty součinitele odporu u různých tvarů těles.* [online], [cit. 2022-12-15]. URL: [https://eluc.ikap.cz/uploads/images/19729/content\\_aDOAAAAASUV.png](https://eluc.ikap.cz/uploads/images/19729/content_aDOAAAAASUV.png).
- [5] Ing. Sajdl, J. Ph.D. *Tlakové pole automobilu Ferrari F430 Scuderia.* [online], [cit. 2022-11-20]. URL: [https://www.autolexicon.net/obr\\_clanky/cs\\_aerodynamika\\_001.jpg](https://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_aerodynamika_001.jpg).
- [6] Ing. Sajdl, J. Ph.D. *Tvar proudnic automobilu Ferrari F430 Scuderia.* [online], [cit. 2022-11-20]. URL: [https://www.autolexicon.net/obr\\_clanky/cs\\_aerodynamika\\_0021.jpg](https://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_aerodynamika_0021.jpg).
- [7] Michael A Pearce. *Změna proudění z laminárního na turbulentní na modelu automobilu.* [online], [cit. 2022-11-20]. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/news/intel-xeon-scalable-processors-deliver-a-big-boost-in-simulation-performance.html>.
- [8] Bednář, M. *Auta s aktuálně nejnižším odporem vzduchu.* [online], [cit. 2022-11-20]. URL: <https://www.autoforum.cz/zajimavosti/auta-s-aktualne-nejnizsim-odporem-vzduchu-viteze-uhadnete-jen-stezi/>.
- [9] INRICH, H. (HRSG.) *Aerodynamik des automobils.* Springer-Verlag Berlin-Heidelberg: Weisbaden, 2008. ISBN: 978-3-528-03959-2.
- [10] Výrobce. *10 aut s nejlepší aerodynamikou všech dob.* [online], [cit. 2022-11-20]. URL: <https://auto.hn.cz/c1-55428560-10-aut-s-nejlepsi-aerodynamikou-vsech-dob-moderni-hybridy-i-staricka-tatra>.
- [11] ŠKODA AUTO Slovensko s.r.o. *Nová ŠKODA OCTAVIA.* [online], [cit. 2022-12-15]. URL: <https://www.skoda-auto.sk/news/news-detail/nova-skoda-octavia>.
- [12] WOLF-HEINRICH, H. (HRSG.) *Aerodynamik des automobils.* Springer-Verlag Berlin-Heidelberg: Weisbaden, 2008. ISBN: 978-3-528-03959-2.
- [13] www.opel.com. *Opel Insignia 2.0 CDTi Ecoflex.* [online], [cit. 2022-12-15]. URL: [https://www.autolexicon.net/obr\\_clanky/cs\\_ecoflex\\_002.jpg](https://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_ecoflex_002.jpg).

- [14] Škoda Auto a.s. 2023. *Úpravy karoserie ŠKODA SCALA pro snížení součinitele odporu vzduchu*. [online], [cit. 2022-12-15]. URL: [https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-scala/infografiky/attachment/scala\\_karoserie\\_aerodynamika\\_b/](https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-scala/infografiky/attachment/scala_karoserie_aerodynamika_b/).
- [15] Beran, A. *Vlastní tvorba*. Hradec Králové, 2022.
- [16] ATTANSLOT. *Stavební a soutěžní pravidla seriálu*. [online], [cit. 2023-1-8]. URL: <http://honda.attanslot.cz/stavebni-soutezni-pravidla-serialu>.
- [17] Honda.co.jp. *Honda Super GT 2010*. [online], [cit. 2023-02-27]. URL: <https://www.honda.co.jp/SuperGT/race2010/>.
- [18] Honda.co.jp. *Honda Super GT 2011*. [online], [cit. 2023-02-27]. URL: <https://www.honda.co.jp/SuperGT/race2011/>.
- [19] Honda.co.jp. *Honda Super GT 2012*. [online], [cit. 2023-02-27]. URL: <https://www.honda.co.jp/SuperGT/race2012/>.
- [20] Honda.co.jp. *Honda Super GT 2013*. [online], [cit. 2023-02-27]. URL: <https://www.honda.co.jp/SuperGT/race2013/>.
- [21] Honda.co.jp. *Honda Super GT 2014*. [online], [cit. 2023-02-27]. URL: <https://www.honda.co.jp/SuperGT/race2014/>.
- [22] Ascott Collection. *Lola B98/10 LMP900*. [online], [cit. 2023-02-27]. URL: <https://www.ascottcollection.com/lolab9810-hu02>.
- [23] Classic Driver 1998. *Lola B98/10 LMP900*. [online], [cit. 2023-02-27]. URL: <https://www.classicdriver.com/en/car/lola/b9810-lmp900/1999/957465>.
- [24] RacingSportsCars. *Porsche 911 GT1 - 98*. [online], [cit. 2023-02-27]. URL: <https://www.racingsportscars.com/type/Porsche/911%5C%20GT1.html>.
- [25] Matt Kew. *Peugeot 406 Coupe BT*. [online], [cit. 2023-02-27]. URL: <https://www.autosport.com/btcc/news/peugeot-confirms-btcc-return-5022808/5022808/>.
- [26] Motorspoer Network. *Peugeot 406 Coupe BT*. [online], [cit. 2023-02-27]. URL: <https://www.autosport.com/btcc/news/vauxhall-astra-coupe-in-defence-of-an-unheralded-btcc-champion-5115310/5115310/>.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

1	Obtékání při nízkých rychlostech–laminární proudění [1]	12
2	Obtékání při vyšších rychlostech–tvorba vírů–turbulentní proudění [1]	12
3	Hodnoty součinitele odporu u různých tvarů těles [4]	13
4	Tlakové pole automobilu Ferrari F430 Scuderia [5]	14
5	Tvar proudnic automobilu Ferrari F430 Scuderia [6]	14
6	Vývoj mezní vrstvy při obtékání rovinné desky [2]	15
7	Změna proudění z laminárního na turbulentní na modelu automobilu [7]	15
8	Vývoj tvaru karoserie a vliv na aerodynamický koeficient [9]	16
9	TATRA T77A z roku 1935 [10]	17
10	Škoda OCTAVIA liftback [11]	17
11	Vývoj tvaru karoserie od roku 1900 [12]	18
12	Opel Insignia 2.0 CDTi Ecoflex [13]	19
13	Úpravy karoserie ŠKODA SCALA pro snížení součinitele odporu vzduchu [14]	20
14	Dráha SCRC Pardubice [15]	22
15	SPYTECH race manager [15]	22
16	Podvozek modelu – typ HONDA [15]	24
17	Podvozek modelu – typ HONDA [15]	24
18	Karoserie typ PEUGEOT [15]	25
19	Karoserie typ HONDA [15]	25
20	Karoserie typ LOLA [15]	26
21	Karoserie typ PORSCHE [15]	26
22	Nastavení ovladače [15]	28
23	Nastavení – odporový prvek [15]	28
24	Hodnoty času u karoserie HONDA – 36 mm [15]	32
25	Karoserie HONDA výška 36 mm [15]	32
26	Hodnoty času u karoserie HONDA – 38 mm [15]	33
27	Hodnoty času u karoserie LOLA – 36 mm [15]	34
28	Karoserie LOLA výška 36 mm [15]	35
29	Hodnoty času u karoserie LOLA – 38 mm [15]	36
30	Hodnoty času u karoserie PORSCHE – 36 mm [15]	37
31	Karoserie PORSCHE výška 36 mm [15]	38
32	Hodnoty času u karoserie PORSCHE – 38 mm [15]	39
33	Hodnoty času u karoserie PEUGEOT – 36 mm [15]	40
34	Karoserie PEUGEOT výška 36 mm [15]	41
35	Hodnoty času u karoserie PEUGEOT – 38 mm [15]	42
36	Průměrné hodnoty času v závislosti na typu a výšce karoserie [15]	43



## SEZNAM TABULEK

1	Obecné parametry měření [15] . . . . .	21
2	Parametry dráhy pro měření [15] . . . . .	23
3	Parametry dráhy pro měření [15] . . . . .	23
4	Rozměry modelu autíčka [15] . . . . .	24
5	Nastavení ovladače modelu pro měření (Obr. 22,23) [15] . . . . .	27
6	Označení veličin . . . . .	30
7	HONDA – 36 mm [15] . . . . .	31
8	HONDA – 38 mm [15] . . . . .	33
9	LOLA – 36 mm [15] . . . . .	34
10	LOLA – 38 mm [15] . . . . .	36
11	PORSCHE – 36 mm [15] . . . . .	37
12	PORSCHE – 38 mm [15] . . . . .	39
13	PEUGEOT – 36 mm [15] . . . . .	40
14	PEUGEOT – 38 mm [15] . . . . .	42
15	Souhrn naměřených časů pro všechny typy a výšky karoserií [15] . . . . .	44