



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## **AKTIVNÍ AERODYNAMICKÉ PRVKY AUTOMOBILŮ**

ACTIVE AERODYNAMIC COMPONENTS OF AUTOMOBILES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**MILOŠ MIKULÁŠEK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. ONDŘEJ ČAVOJ**

BRNO 2014



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Miloš Mikulášek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Aktivní aerodynamické prvky automobilů**

v anglickém jazyce:

### **Active aerodynamic components of automobiles**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše automaticky i manuálně řízených pohyblivých aerodynamických prvků u současných silničních vozidel.

Cíle bakalářské práce:

1. Shrnutí důvodů pro použití aktivních aerodynamických součástí.
2. Popis vybraných aktivních součástí umístěných na karoseriích vozů.
3. Vysvětlení využití aktivní aerodynamiky v motorovém prostoru.

Seznam odborné literatury:

[1] HUCHO, W-H. Aerodynamics of road Vehicles. 4 ed. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1998, 918 s. ISBN 07-680-0029-7.

[2] MEDER, J. Aerodynamic Shapeshifter – The New Porsche 911 Turbo. In: WIEDEMANN, J. Progress in Vehicle Aerodynamics and Thermal Management: Proceedings of the 9th FKFS-Conference. Renningen: expert verlag, 2013, s. 102-119. ISBN 978-3-8169-3253-6.

[3] 2012 FORD FOCUS ACTIVE GRILLE SHUTTERS. I-CAR [online]. [2011] [cit. 2013-11-08]. Dostupné z:

[http://pdmdev.i-car.com/html\\_pages/technical\\_information/advantage/advantage\\_online\\_archives/2011/062911.shtml](http://pdmdev.i-car.com/html_pages/technical_information/advantage/advantage_online_archives/2011/062911.shtml)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Čavoj

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 8.11.2013

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá vypracováním rešerše na téma aktivní aerodynamické prvky. Práce nás nejprve seznámí se základy aerodynamiky a tvorbou vztlakové síly. Popisuje jednotlivé aktivní aerodynamické prvky, které jsou využívány v automobilech pro zajištění lepších jízdních vlastností.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Aktivní aerodynamické prvky, přítlak, křídlo, spoiler, Porsche 911

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis is focused on the topic of active aerodynamic components. Bachelor's thesis explains something about the basics of aerodynamics and generating aerodynamic forces. It also describes the main active aerodynamic components, which are used in automobiles for better driveability.

## **KEYWORDS**

Active aerodynamic components, downforce, wing, spoiler, Porsche 911



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MIKULÁŠEK, M. *Aktivní aerodynamické prvky automobilů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 38 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ondřej Čavoj.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Čavoje a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 29. května 2014

.....

Miloš Mikulášek



## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval panu Ing. Ondřejovi Čavojovi za cenné rady, připomínky a poskytnuté materiály.





## OBSAH

Úvod .....	10
1 Úvod do aerodynamiky .....	11
1.1 Teorie aerodynamiky .....	11
1.1.1 Typy proudění .....	11
1.1.2 Bernoulliho rovnice .....	12
1.1.3 Úhel náběhu křídla.....	13
1.2 Aerodynamika automobilů .....	14
1.2.1 Závislost odporu a vztlaku.....	15
1.2.2 Tvar karoserie .....	16
2 Aktivní aerodynamické prvky .....	18
2.1 Přední spoiler .....	19
2.1.1 Aktivní spoiler u Porsche 911 Turbo S .....	20
2.1.2 Mechanismus vysunutí předního spoileru .....	21
2.2 Zadní křídlo.....	23
2.2.1 Zadní křídlo u Porsche 911 Turbo S.....	23
2.2.2 Mechanismus vysunutí zadního křídla .....	25
2.2.3 Aerodynamická brzda.....	26
2.2.4 Ukázky dalších vozů s aktivním křídlem .....	27
2.3 Aktivní klapky difuzoru.....	29
2.4 Porovnání módů prvků na voze Porsche 911.....	30
2.5 Řízení aktivních prvků na voze Porsche 911.....	31
3 Aktivní aerodynamika motorového prostoru.....	32
Závěr.....	35
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	38



## ÚVOD

V dnešní době, kdy ceny pohonných hmot stále rostou, se většina automobilek snaží snížit spotřebu paliva svých vozů. Investují proto velké finance do vývoje aerodynamiky, která může pomoci efektivně snížit spotřebu a zároveň zvýšit důležité jízdní vlastnosti vozů, jako je jízdní stabilita, účinnost brzd nebo maximální rychlost.

Cílem této bakalářské práce je zpracování rešerše o aktivních aerodynamických prvcích používaných u dnešních sportovních vozů a vysvětlení, proč se používá a jak pracuje aktivní aerodynamika v motorovém prostoru.

V první kapitole se bakalářská práce bude zabývat problematikou základních principů aerodynamiky a jejich vlivu na osobní automobily. Vliv aerodynamického odporu a vztlaku na jízdní vlastnosti a závislost tvaru karoserie vozidla na tomto odporu a vztlaku.

Další kapitola shrne nejdůležitější aktivní aerodynamické prvky a jejich funkci. Budou zde popsány polohy, ve kterých se aktivní aerodynamické prvky mohou nacházet, jak tyto polohy ovlivňují výsledné chování automobilu a způsoby realizace těchto aktivních prvků na vozech.

Závěrečná kapitola bude zaměřena na aktivní aerodynamiku v motorovém prostoru. Shrne, jaké aktivní aerodynamické prvky jsou používány v motorovém prostoru, jak pracují a jejich hlavní výhody.



# 1 Úvod do aerodynamiky

Aerodynamika je část fyziky, která se zabývá silovým působením na těleso, kolem kterého proudí vzduch. Pohyb je relativní a to znamená, že nezáleží na tom, zda je těleso v klidu a vzduch kolem něj obtéká nebo se těleso pohybuje a vzduch je nehybný. V obou případech působí na těleso stále stejné síly. To umožňuje využívat tzv. aerodynamické tunely pro vývoj a testování nových aerodynamických prvků, ve kterých dosahuje proud vzduchu vysokých rychlostí, aniž by se těleso uvnitř tunelu muselo takto vysokou rychlostí pohybovat. S dnešními pokročilými technologiemi v oblasti počítačových modelů však spousta firem využívá k vývoji tzv. CFD software, což je software řešící problematiku proudění tekutin. Aplikace této metody je výhodné z hlediska ekonomiky, protože není potřeba investovat velké finance do stavby aerodynamických tunelů. Většina firem však využívá obě metody pro porovnání vypočtených dat softwarem s naměřenými reálnými hodnotami z aerodynamického tunelu.

Největší význam má aerodynamika v letectví, automobilovém průmyslu, ale také například v architektuře. V této závěrečné práci se budu zabývat aerodynamikou automobilů.

## 1.1 Teorie aerodynamiky

Pokud těleso obtéká proud vzduchu, tak se na jeho povrchu tento vzduch stlačuje a tím se tvoří nerovnoměrné tlakové pole. Tlak vzduchu lze uvažovat třemi způsoby:

- Statický tlak
- Dynamický tlak
- Celkový tlak

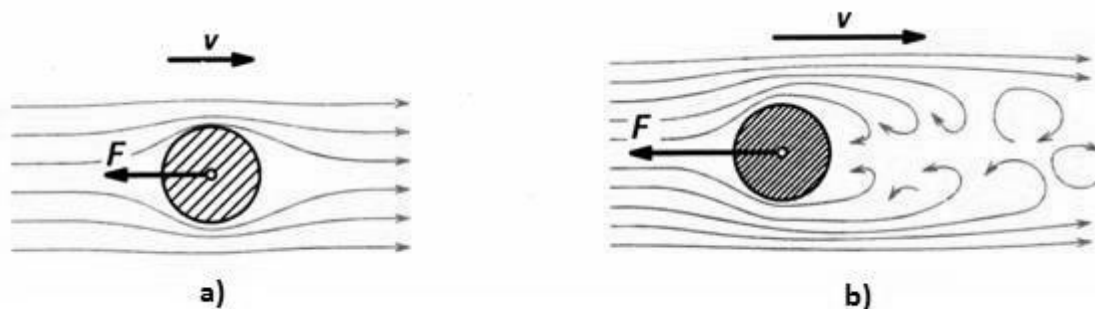
Statický tlak naměříme v případě, že se vzduch nepohybuje. Dynamický tlak naměříme, pokud je vzduch v pohybu. Celkový tlak je součtem statického a dynamického tlaku, který je vždy konstantní. S rostoucí rychlostí klesá statický tlak a zároveň roste dynamický tlak. Pokud těleso, kolem kterého proudí vzduch, je asymetrické, rychlost proudění vzduchu kolem různých částí tělesa bude také různá. Tím dochází k nerovnováze statického tlaku, která způsobí vznik aerodynamického vztlaku, který může být kladný nebo záporný. U záporného vztlaku pak mluvíme o přitlaku.

### 1.1.1 Typy proudění

Částice proudícího vzduchu se spojují do proudnic, což je dráha vybrané částice vzduchu, a ty se spojují do proudového svazku, dle kterého rozlišujeme dva typy proudění:

- laminární proudění – proudnice jsou rovnoběžné, částice nerotují
- turbulentní proudění – proudnice se roztácejí a začínají se křížit

Přechod mezi laminárním a turbulentním prouděním udává Reynoldsovo číslo, které se liší pro různé aerodynamické prvky a zjišťuje se experimentálně.



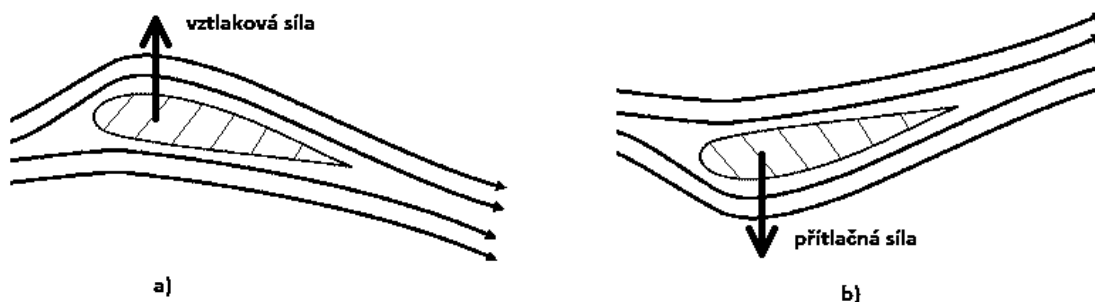
Obr. 1 Proudění a) laminární, b) turbulentní [11]

### 1.1.2 Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice je důležitý vztah používaný v aerodynamice, který je matematickým vyjádřením zákona zachování mechanické energie v ustáleném vodorovném toku plynu. Rovnice vypadá následovně: [1]

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

kde „ $p$ “ je tlak, „ $\rho$ “ je hustota a „ $v$ “ je rychlost proudění. Bernoulliho princip odpovídá principu zachování energie. Ten uvádí, že součet všech forem energie je stejný ve všech bodech. To vyžaduje, aby součet kinetické energie a potenciální energie zůstal konstantní. Z rovnice je již na první pohled patrné, že pokud se zvýší rychlost proudění, musí se snížit tlak a naopak, aby byla v soustavě zachována energie. Pokud si představíme profil křídla, kolem kterého proudí vzduch, na horní části křídla bude rychlost proudu vzduchu rychlejší než na části spodní. Z Bernoulliho rovnice vyplývá, že na horní části křídla bude tlak nižší a na spodní části křídla tlak vyšší. Nerovnováha tlaků se snaží přirozeně dostat do rovnováhy a tak tlačí křídlo směrem vzhůru, mluvíme zde o vztlakové síle. U křídel používaných u automobilů je křídlo otočené vzhůru nohama, čímž vzniká síla působící směrem dolů, mluvíme zde o přitlaku.

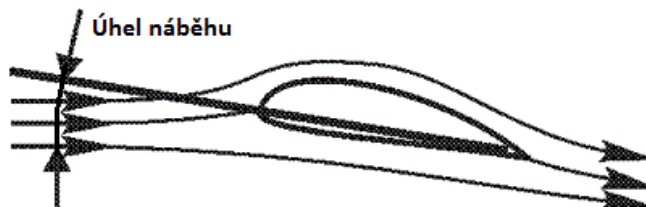


Obr. 2 Profil křídla a) letadla, b) automobilu [12]



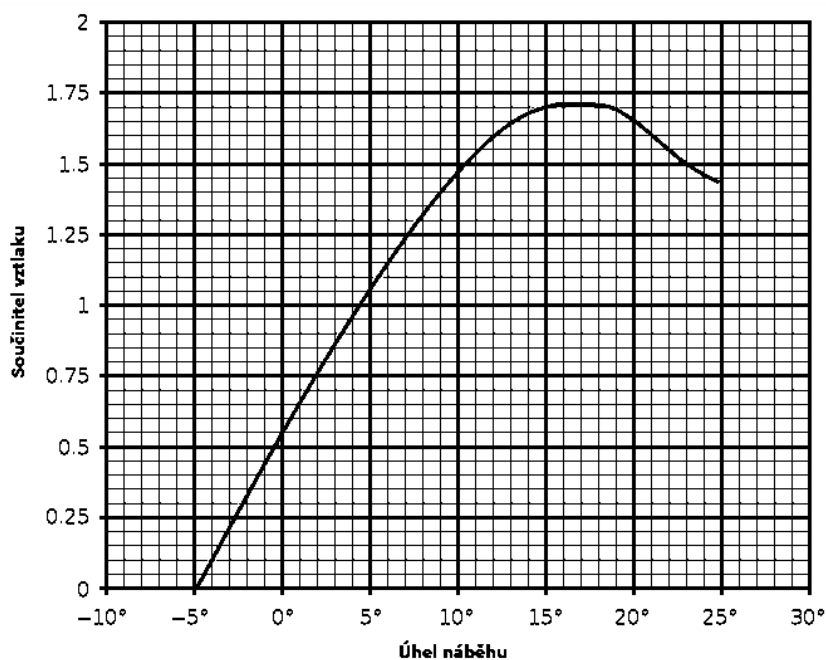
### 1.1.3 Úhel náběhu křídla

Úhel náběhu je úhel, který svírá vektor představující relativní pohyb vzduchu mezi letadlem a atmosférou s referenční přímkou křídla. Změna tohoto úhlu vede ke změně rychlosti proudu vzduchu kolem obtékaného křídla a tím dochází ke zvýšení vztlačové nebo přítlačné síly, až do okamžiku, kdy je úhel natolik veliký, kdy vzniklá síla začne zase klesat.



Obr. 3 Úhel náběhu křídla [13]

Závislost mezi velikostí úhlu náběhu a velikostí vztlačové síly u leteckého křídla je patrné z následujícího obrázku:



Obr. 4 Závislost vztlaku a úhlu náběhu u leteckého křídla [6]

Jestliže zvětšujeme úhel náběhu křídla, roste vztlak, ale zároveň se zvyšuje i odpor vzduchu proudícího proti směru pohybu. Z obrázku vidíme, že jakmile úhel náběhu dosáhne určité kritické hodnoty, ve které je koeficient vztlaku maximální, vztlak se nadále nezvyšuje, ale naopak začne klesat. To je způsobeno zvyšujícím se odporem křídla a vznikem vzdušných vírů. Při vysokých úhlech vztlak úplně zmizí. Avšak velikost aerodynamického odporu se nadále zvyšuje a brzdí pohybující se těleso. Což často bývá využíváno na automobilech pro zlepšení brzdného účinku.



## 1.2 Aerodynamika automobilů

Proudění vzduchu u pohybujícího se automobilu můžeme rozdělit do tří kategorií:






- proudění vzduchu okolo vozidla
- proudění vzduchu v motorovém prostoru
- proudění uvnitř motoru a převodovky

První dva typy proudění spolu úzce souvisí. Průtok vzduchu skrz motorový prostor je závislý na proudění vzduchu kolem vozidla. Avšak proudění uvnitř motoru a převodovky není závislé na proudění vně a neovlivňuje tak celkovou aerodynamiku automobilu.

Důležitou aerodynamickou veličinou, která nás zajímá, je součinitel aerodynamického odporu. Je to bezrozměrná veličina závislá na tvaru předmětu. Značíme ji  $c_D$ . Celkovou velikost aerodynamické odporové síly, která působí proti pohybu předmětu, dokážeme spočítat pomocí následujícího vztahu: [1]

$$D = c_D \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \tag{2}$$

kde „ $c_D$ “ je součinitel odporu, „ $\rho$ “ je hustota vzduchu, „ $v$ “ je rychlost pohybu a „ $A$ “ je velikost čelní plochy automobilu, kterou si můžeme představit jako plochu, která se nám promítne na zeď, jestliže zepředu automobil nasvítíme silným světlem. Obrys automobilu zobrazený na zdi, nám vymezuje velikost čelní plochy. Ze vztahu plyne, že velikost odporu závisí hlavně na velikosti automobilu, jeho tvaru a také jeho rychlosti. Čím je hodnota odporové síly větší, tím je automobil více brzděn. Výkon, spotřeba paliva, emise nebo maximální rychlost, to vše odpor vzduchu ovlivňuje.

Shape		Drag Coefficient
Sphere		0.47
Half-sphere		0.42
Long Cylinder		0.82
Short Cylinder		1.15
Streamlined Body		0.04

Obr. 5 Různé hodnoty aerodynamického odporu u různých tvarů [7]

Samozřejmě aerodynamika vozidel zahrnuje více než jen odpor vzduchu. Proud vzduchu okolo vozidla je zodpovědný za směrovou stabilitu, reaguje na boční vítr nebo dynamiku řízení. Dále by měl být vnější tok vzduchu usměrněn tak, aby zabraňoval hromadění kapek dešťové vody na oknech a zpětných zrcátkách, chladil zatěžované součásti, nezpůsobil zvedání stěračů nebo redukoval aerodynamický hluk. Důležité je také zajistit, aby proud vzduchu uvnitř motorového prostoru odváděl přebytečné teplo za všech jízdních podmínek.



## 1.2.1 Závislost odporu a vztlaku

Proud vzduchu proudící okolo automobilu vytváří vztlak, kvůli rozdílným tlakům nad vozem a pod vozem. Tento vztlak má obvykle kladnou hodnotu, tzn., že směřuje vzhůru. Díky tomuto jevu není automobil tolik přitlačován k vozovce. Velikost vztlaku je pak závislá na rychlosti jízdy. Výsledným efektem na automobil je i zvýšení aerodynamického odporu. Koeficient celkového aerodynamického odporu závisí na vztlaku dle následujícího vzorce:[1]

$$c_D = c_{D0} + c_{Di} \quad (3)$$

kde „ $c_{D0}$ “ je koeficient aerodynamického odporu automobilu dle jeho tvaru a „ $c_{Di}$ “ koeficient odporu vzniklého vlivem vztlaku dle vzorce:[1]

$$c_{Di} = k \frac{c_L^2}{\Delta} \quad (4)$$

kde „ $k$ “ je k-faktor, který se určuje pokusem, „ $c_L$ “ je koeficient vztlaku a „ $\Delta$ “ je poměr mezi šířkou vozu a délkou vozu. U automobilů se poměr pohybuje okolo hodnoty 0,4. [1]

Měřením automobilu Volkswagen 1600 v různých aerodynamických tunelech s použitím různých aerodynamických prvků ukázalo, že odpor a vztlak se vzájemně mezi sebou mění, jak můžeme vidět na následujícím obrázku.

	$c_D$	$c_L$
A Basic Configuration	0,34	0,38
B Rear Spoiler	0,33	0,18
C Fender Spoiler	0,38	0,48
D Front Spoiler	0,38	0,29

Obr. 6 Závislost koeficientů odporu a vztlaku při použití přídavných prvků [1]

Z obrázku vidíme, že s přibližně stejným koeficientem aerodynamického odporu se přidáním zadního křídla (B) sníží vztlak o víc jak polovinu, než v případě (A) bez zadního křídla. Podobné výsledky získáme i porovnáním konfigurace (C) s blatníkem a (D) s předním spoilerem. Často tedy dochází k tomu, že s klesajícím vztlakem roste odpor a naopak, jak je patrné porovnáním hodnot (D) s hodnotami (A). V případě použití zadního křídla i předního spoileru, získáme oproti základní konfiguraci výsledný koeficient odporu  $c_D=0,37$  a koeficient vztlaku  $c_L=0,09$ .

Pokud tedy chceme, aby vůz měl nízký vztlak, projeví se nám to ve zvýšení odporu. Konkrétní nastavení vozu je pak kompromis mezi odporem a vztlakem.

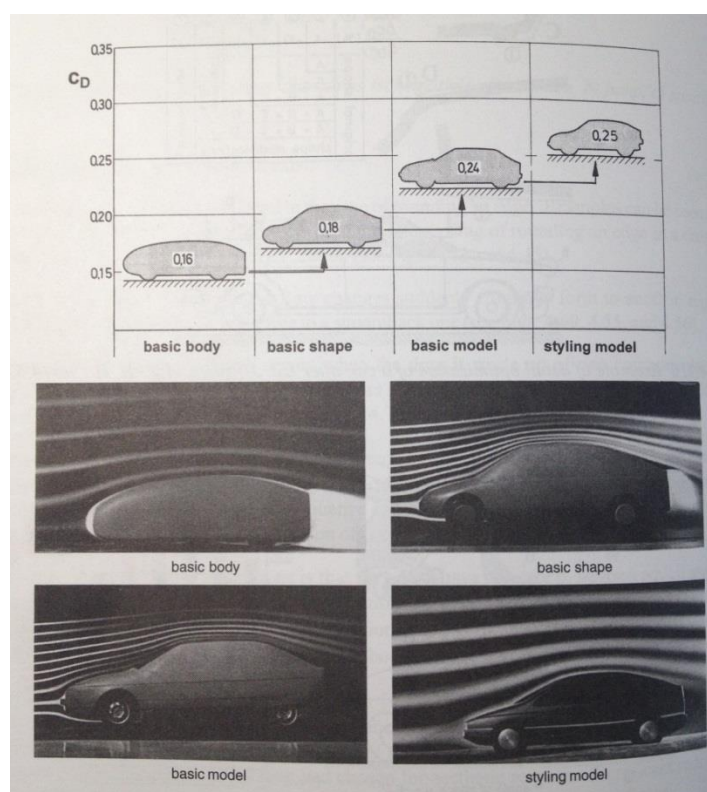




## 1.2.2 Tvar karoserie

Aerodynamika má velký vliv na tvar automobilu. Je však důležité mít na paměti, že výsledný tvar a jeho detaily neovlivňuje jen aerodynamika. Je to například bezpečnost, právní předpisy, ekonomika a v neposlední řadě estetika.

Při navrhování tvaru karoserie se vychází z tvaru s velmi malým aerodynamickým odporem, nazýváme jej základní těleso. Jediné omezení tohoto základního tělesa je, že nesmí překročit hlavní celkové rozměry předpokládaného vozu, tj. délku, šířku a výšku, a musí mít světlou výšku budoucího vozu. Během procesu vývoje je toto základní těleso postupně transformováno na reálné auto. Ze základního tělesa získáme základní tvar, který už obsahuje všechny podstatné tvary budoucího automobilu, ale je stále zcela hladký. Má jen o trochu vyšší aerodynamický odpor než základní těleso. Přidáním dalších detailů se dostáváme k základnímu modelu, který už obsahuje vše důležité, dochází zde ke znatelnému zvýšení aerodynamického odporu. Posledním krokem je doladění detailů základního modelu pro esteticky přijatelný vzhled. V závislosti na tom, jak moc se základní model liší od finálního automobilu, se nám ještě zvýší aerodynamický odpor.



Obr. 7 Proces navrhování tvaru a zvyšování aerodynamického odporu [1]

Použitím této strategie, byli inženýři schopni navrhnout ekologický vůz Volkswagen XL1 s koeficientem aerodynamického odporu pouze  $C_D=0,189$  a neuvěřitelnou kombinovanou spotřebou 0,9l/100km. Pro porovnání například Škoda Superb roku výroby 2008 má koeficient aerodynamického odporu  $C_D=0,29$ , což je mohutný rozdíl. [27][28]

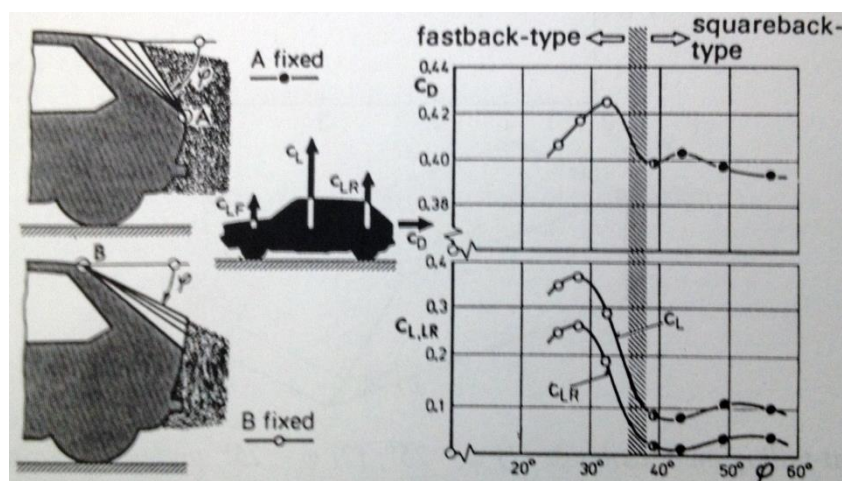




Abychom mohli otestovat aerodynamiku navržené karoserie, musíme vidět proudění vzduchu kolem automobilu. Umístěním do aerodynamického tunelu a použitím generátoru kouře uvidíme proudnice v rovině automobilu. Na obr. 7 můžeme vidět proudnice obtékající okolo automobilu, kopírují jeho tvar a nakonec se oddělí na hraně střechy. Nežádané, avšak ve většině případů nevyhnutelné je toto typické odtržení toku na zadní části automobilu. Odtržení toku vzduchu je možné sledovat zavedením kouře přímo za automobil. Dle obr. 8 vidíme, že odpor i vztlak vozu je závislý na tomto odtrhávání. Místo odtrhávání pak závisí na úhlu v zadní části vozu. Kritickým úhlem je 30 stupňů, při kterém odpor i vztlak dosahuje nejvyšších hodnot. Úkolem inženýrů je pak navrhnout zadní část vozu generující co nejnižší odpor i vztlak, přesně určit místo odtrhávání a usměrnit proud vzduchu.



Obr. 8 Proudění okolo automobilu [1]



Obr. 9 Závislost odporu a vztlaku na úhlu v zadní části vozu [1]

Aerodynamicky odpor je kvadraticky závislý na rychlosti pohybujícího se automobilu. Při rychlosti 100 km/h u středně velkého automobilu dosahuje aerodynamický odpor vzduchu až 75-80% z celkového odporu působícího proti směru jízdy, který musí motor automobilu překonat, což výrazně ovlivňuje spotřebu paliva, ale také jeho maximální rychlost. Dříve bylo hlavní motivací snížení aerodynamického odporu kvůli vyšší maximální rychlosti, dnes je to už většinou snaha dostat se k nižší spotřebě paliva a snížení emisí. Při vývoji aerodynamiky automobilů je tedy v obou zmíněných případech hlavním cílem snížit aerodynamický odpor a vztlak.



## 2 Aktivní aerodynamické prvky

Se zvyšující se rychlostí má automobil tendenci ztrácet přítlak, což je nebezpečné například při projíždění zatáčkami nebo při brzdění. Pro zlepšení jízdních vlastností jsou na automobilech umístěny aerodynamické prvky. Tyto prvky nám pomáhají řídit proud vzduchu, a můžou tak zvyšovat aerodynamický přítlak, čímž se však zvýší i aerodynamický odpor, nebo můžou aerodynamický odpor snižovat, to je zase spojeno s nižším aerodynamickým přítlakem. Aktivní prvky jsou pak ty, které se dokáží pohybovat a měnit tak směr proudu vzduchu během jízdy. Pohybovat s těmito prvky může buď řidič, nebo jsou řízeny řídicí jednotkou automobilu.

Aktivní aerodynamické prvky se používají na dnešních vozech hlavně proto, že v porovnání s klasickými pasivními aerodynamickými prvky můžou měnit vlastnosti vozu v reálném čase.

Díky této automatické změně polohy aktivních aerodynamických prvků dosahujeme vynikajících výsledků v oblasti snížení aerodynamického odporu na co nejnižší hodnotu, tedy tak aby proud vzduchu kladl co nejmenší odpor proti pohybu vozidla, nebo naopak změnou polohy aktivních prvků během jízdy dokážeme snížit vztlak automobilu. To má zase příznivý vliv na akceleraci, brzdění či stabilitu vozidla.

Důležitým faktorem pro použití aktivní aerodynamiky je stále rostoucí cena pohonných hmot a fakt, že zásoby ropy nejsou neomezené. Díky aktivní aerodynamice dokážeme výrazně snížit spotřebu paliva a tím i snížit emise, které jsou škodlivé pro životní prostředí. Například u nového modelu vozu Mercedes, došlo díky propracované aerodynamice ke snížení aerodynamického odporu z  $c_D=0,3$  na  $c_D=0,24$ . Tento nepatrný rozdíl však dokáže uspořit až 0,5 litrů paliva na 100km při průměrné rychlosti 55km/h. V extrémním případě, při průměrné rychlosti na dálnici 200km/h je výsledná úspora paliva až 2 litry na 100km. To je stejná úspora, jaké bychom dosáhli odlehčením automobilu o 1 tunu, v případě průměrné rychlosti 55km/h lze úspora paliva uvažovat jako odlehčení o 100kg. [29]

Důležitou výhodou aktivních aerodynamických prvků je, že můžeme volit mezi vyšším aerodynamickým přítlakem, a mezi nízkým aerodynamickým odporem přímo během jízdy. Při vysokých či nízkých rychlostech se aktivní prvky automaticky nastavují tak, aby jízdní vlastnosti byly co nejefektivnější pro aktuální jízdní podmínky, což bychom použitím pasivních aerodynamických prvků těžko dokázali, a museli bychom hledat kompromis mezi odporem a vztlakem.



## 2.1 Přední spoiler

Aktivní přední spoiler se používá převážně pro snížení vztlaku přední nápravy automobilu. Neměli bychom přehlédnout i negativní stránku předních spoilerů. Díky umístění předního spoileru dochází ke zvýšení aerodynamického odporu.

Princip snižování aerodynamické vztlakové síly pomocí předního spoileru funguje na principu změny rychlosti proudění vzduchu pod vozidlem. Přední spoiler tak generuje aerodynamický přítlak, ale zároveň působí proti pohybu jízdy a zvyšuje tak aerodynamický odpor. Proto je použití aktivního předního spoileru výhodné, protože řídicí jednotka automobilu sama zvolí hodnotu vysunutí dle vstupních parametrů.

Aktivní přední spoilery se běžně vyrábí ze sloučenin křemíku, skelných vláken nebo uhlíkových vláken. Křemík má výjimečné plastické vlastnosti, navíc dobře odolává vysokým teplotám a poskytuje delší životnost ve srovnání s jinými materiály, jako je plast nebo skleněná vlákna. Spoiler ze skelných vláken je odolný a poměrně levný. Spoiler vyrobený z uhlíkových vláken je oproti skelným vláknům lehký, ale za to velmi nákladný.

Aktivní spoiler, který automaticky mění aerodynamiku automobilu během jízdy podle aktuální rychlosti, se v dnešní době využívá u čím dál více sportovních vozů. Můžeme ho například vidět na japonském voze Toyota Supra nebo na voze německé značky Porsche 911 Turbo S.



*Obr. 10 Aktivní přední spoiler na voze Toyota Supra [26]*



## 2.1.1 Aktivní spoiler u Porsche 911 Turbo S

Aktivní přední spoiler, který je použitý u vozu Porsche 911 Turbo S, je vyroben z pružného elastomeru a pracuje ve třech módech.

1. V prvním módu je spoiler úplně zasunutý – vhodné pro běžné ježdění, kdy nepotřebujeme extra přítlak, spoiler je dobře chráněn proti uražení



*Obr. 11 Zasunutý přední spoiler při nízkých rychlostech [2]*

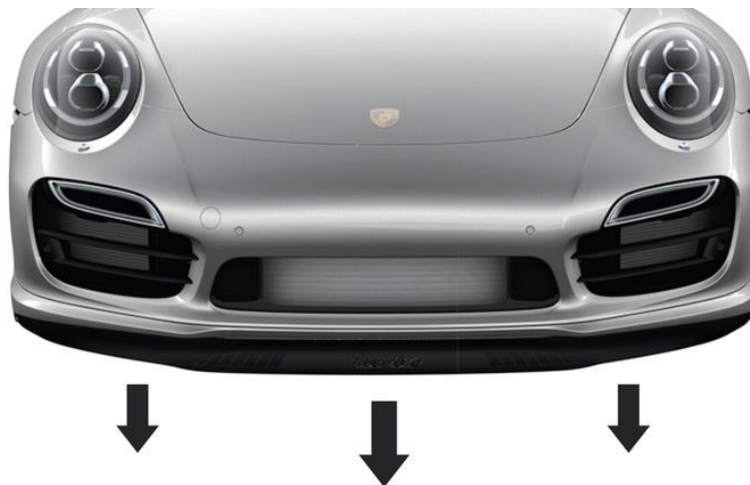
2. Druhý mód nastane při rychlosti 120km/h – při překročení této rychlosti se spoiler částečně vysune, což pomáhá k zajištění vyšší úrovně stability vozu, vyšší přilnavosti



*Obr. 12 Částečně vysunutý přední spoiler [2]*



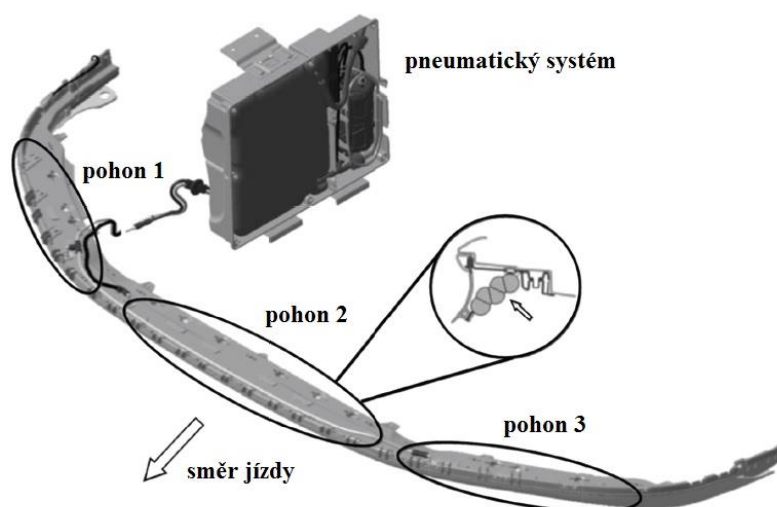
3. Třetí mód spustíme pomocí tlačítka uvnitř automobilu – spoiler se vysune na maximum, dosahujeme lepší úrovně stability a přítlaku než v módu druhém, zvyšuje se však aerodynamický odpor



Obr. 13 Maximálně vysunutý přední spoiler [2]

## 2.1.2 Mechanismus vysunutí předního spoileru

Systém aktivního předního spoileru na voze Porsche 911 Turbo S, je tvořen dvěma hlavními částmi. První částí je pružný, pneumaticky výsuvný spoiler. Druhou důležitou částí, bez které by celé vysunutí nebylo možné, je pneumatický systém, který dodává stlačený vzduch výsuvnému štítku.

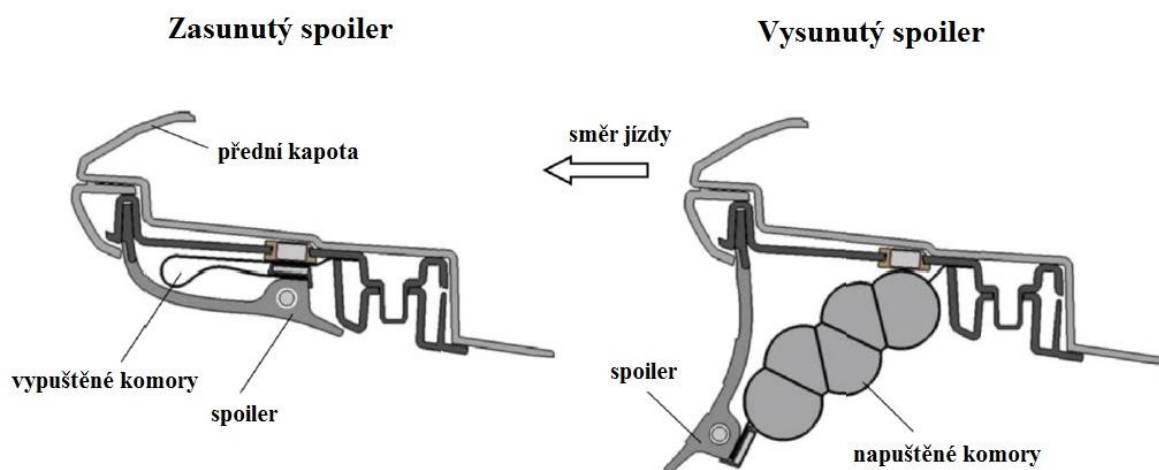


Obr. 14 Realizace vysunutí předního spoileru [2]





Přední štítek spoileru se skládá ze tří pneumatických pohonů, které jsou umístěny na zadní straně. Každý ze tří pneumatických pohonů obsahuje pětikomorový nafukovací systém, který může být naplněn a vyprázdňen pomocí stlačeného vzduchu z pneumatického systému. Protože je štítek spoileru rozdělen do těchto tří sektorů, lze jednotlivé sektory naplnit stlačeným vzduchem zvlášť. Platí však, že dva krajní sektory se nafukují vždy zároveň, aby nemohlo docházet k nerovnoměrnému proudění vzduchu. Pokud tedy naplníme stlačeným vzduchem pouze krajní dva sektory, získáme nižší aerodynamický přítlak, než kdybychom naplnili všechny tři sektory a vysunuli tak celý přední spoiler.



Obr. 15 Zasunutý (vlevo) a vysunutý (vpravo) přední spoiler [2]

Hlavním zdrojem stlačeného vzduchu je u aktivního spoileru pneumatický systém, pomocí kterého naplňujeme vzduchem jednotlivé komory. Pneumatický systém se převážně nachází v zavazadlovém prostoru. Je složený z elektrického kompresoru, vzduchového akumulátoru a řídicí jednotky.

Celý pracovní cyklus je tedy následující. Řídicí jednotka neustále sleduje aktuální rychlost vozu. Jakmile vůz dostaneme do pohybu, komory všech třech sektorů jsou zatím prázdné a štítek tedy není vidět, až do okamžiku, kdy řídicí jednotka zaznamená překročení předem určené limitní hodnoty rychlosti. V tomto okamžiku předá řídicí jednotka příkaz pneumatickému systému, který začne pumpovat stlačený vzduch do nafukovacích komor dvou krajních sektorů a vysune tak částečně štítek spoileru. Obdobným způsobem se pak vysune i třetí sektor. Zasouvání štítku se děje opačnou logikou s tím, že řídicí jednotka reaguje na jinou limitní hodnotu rychlosti a pneumatický systém vzduch do komor nedodává, ale odebírá z nich.

Pneumatický systém v kombinaci s flexibilním a velice kvalitním materiálem použitým na výrobu štítku aktivního předního spoileru nabízí spoustu výhod oproti klasickým pasivním předním spoilerům. Jak již bylo řečeno, dokážeme oproti pasivnímu spoileru automaticky regulovat aerodynamiku vozu různými pozicemi štítku a díky vynikající pružnosti materiálu, ze kterého je štítek vyroben, se snižuje šance, že se nám spoiler někde poškodí nebo urazí.



## 2.2 Zadní křídlo

Zadní křídlo nám pomáhá k dosažení těchto nejdůležitějších vlastností:

- snižuje vztlak na zadní nápravě
- usměrňuje proud vzduchu v zadní části vozidla

Zadní křídlo funguje na principu obráceného leteckého křídla. Generuje tedy automobilu aerodynamický přítlak, zároveň usměrňuje proud vzduchu v zadní části automobilu a omezuje tak vznikající turbulence. Zadní křídlo má dvojitý vliv na celkový aerodynamický odpor vozu, usměrňováním proudu vzduchu v zadní části automobilu se nám aerodynamický odpor snižuje, zároveň se však přidáním tohoto prvku na karoserii vozu aerodynamický odpor zvyšuje, protože blokuje proud vzduchu. Velikost přítlaku generovaného křídlem závisí na tvaru křídla a na úhlu náběhu. Aktivní zadní křídlo se oproti klasickým křídům liší v tom, že se během jízdy automaticky buď zasune, vysune a naklopí dle aktuálních jízdních podmínek. Aktivně tak mění aerodynamiku vozu během jízdy.

### 2.2.1 Zadní křídlo u Porsche 911 Turbo S

Na vozu Porsche 911 Turbo S se využívá aktivního zadního křídla k dosažení lepšího aerodynamického přítlaku nebo pro zlepšení brzdného účinku. Zadní přítlačné křídlo pracuje také ve třech módech jako přední spoiler. Oba tyto aktivní aerodynamické prvky musí pracovat současně, aby nedocházelo k nerovnoměrnému proudění vzduchu okolo automobilu a nevznikal tak nerovnoměrný přítlak na přední i zadní nápravu, čímž by vůz nebyl stabilní.

1. V prvním módu je zadní křídlo úplně zasunuté – mód je určený pro běžný provoz, generuje minimum přítlaku



Obr. 16 Zadní křídlo vozu Porsche 911 Turbo S v prvním módu [2]



2. Druhý mód nastane při rychlosti vyšší jak 120km/h – při překročení této rychlosti se zadní křídlo automaticky vysune o 25mm, zvyšuje se tak aerodynamický přítlak a automobil lépe drží při projíždění zatáček



Obr. 17 Částečně vysunuté zadní křídlo [2]

3. Třetí mód je spuštěn pomocí tlačítka v automobilu – po aktivování se zadní křídlo kompletně vysune na celkovou hodnotu 75mm, natočí se o 7 stupňů, čímž se zvýší úhel náběhu na 15 stupňů, a začne generovat maximální přítlak, který je křídlo schopné poskytnout, díky tomu se však zároveň zvýší aerodynamický odpor vozidla



Obr. 18 Zadní křídlo vysunuté a natočené na maximum [2]





## 2.2.2 Mechanismus vysunutí zadního křídla

Aktivní zadní křídlo vozu Porsche 911 Turbo S má v sobě zabudované dva samostatně ovladatelné elektrické motory, pomocí kterých se plynule nastavuje výška vysunutí a úhel náběhu křídla. Elektrický motor, který zajišťuje naklápění a tím změnu úhlu náběhu křídla, je umístěn v levém výsuvném držáku zadního křídla. Dokážeme vysunout křídlo do maximální polohy 120 mm, a natočit křídlo až o 7 stupňů, čímž se zvětší úhel náběhu křídla na 15 stupňů. Složení jednotlivých dílů a motory křídla lze vidět na následujícím obrázku:



Obr. 19 Schéma složení aktivního zadního přitlačného křídla [2]

Celý cyklus vysouvání a zasouvání probíhá podobně jako u předního spoileru. Řídící jednotka automobilu neustále získává údaje o aktuální rychlosti jízdy, které dále vyhodnocuje a podle toho provede odpovídající akci. Jestliže se rozjedeme a začneme zrychlovat, dřív nebo později překročíme předem určenou limitní hodnotu rychlosti, která se může v závislosti na typu automobilu lišit. Jakmile řídící jednotka zaznamená překročení této rychlosti, odešle signál elektrickému motoru v zadním křídle, který se aktivuje a povysune křídlo do první polohy. Pokud budeme nadále zvyšovat rychlost automobilu, můžeme stisknout tlačítko pro aktivaci třetího módu. Řídící jednotka díky tomu pošle signál prvním i druhému elektrickému motoru. Tím se křídlo vysune do maximální polohy a druhý motor jej ještě pootočí a zvýší tak úhel náběhu. Do původního režimu se zadní křídlo dostane obráceným postupem s tím, že limitní hodnota rychlosti pro zasunutí zde bude nižší než limitní hodnota sloužící k aktivaci vysouvání křídla. To z důvodu, aby nemohla nastat situace, kdy nám rychlost bude kolísat kolem jedné limitní hodnoty. Křídlo by se pak pořád vysouvalo a hned zase zasouvalo, což by nemělo žádný smysl.



## 2.2.3 Aerodynamická brzda

Jak již bylo řečeno, zadní přitlačné křídlo se dá využít i jako aerodynamická brzda. Tento brzdný účinek působící na pohybující se automobil pomáhá hlavním brzdám v brzdění. Aerodynamická brzda na vozech funguje na principu zvětšování úhlu náběhu zadního křídla, a tím nárůstu aerodynamického odporu automobilu. Zároveň však zadní křídlo generuje přítlak na nápravu automobilu, automobil je více tlačěn k silnici a můžeme tak více sešlápnout brzdící pedál, aniž by nastalo smýkání mezi koly a silnicí.

Aerodynamickou brzdou tvořenou výsuvným zadním křídlem můžeme vidět například na voze Bugatti Veyron. Celý proces je automatizován tak, že pokud rychlost jízdy vozidla je větší jak 200km/h a začneme brzdít, během 0,4 sekundy se vysune zadní křídlo a natočí se do polohy, kdy úhel náběhu dosahuje až 55 stupňů. Na automobil tak okamžitě začne působit větší síla aerodynamického odporu, která zkracuje brzdnou dráhu až o 12metrů při rychlosti jízdy okolo 250km/h.

Aerodynamická brzda je efektivní hlavně při vyšších rychlostech jízdy, protože ve vztahu (1) pro sílu aerodynamického odporu vidíme, že odpor závisí na hustotě a čelní ploše, která se u jednoho automobilu nemění, a dále závisí na tvaru křídla a kvadraticky na rychlosti. Takže se zvyšující se rychlostí kvadraticky roste brzdný účinek.

Na následujících obrázcích můžeme vidět zadní spoilery na různých vozech, které pomáhají zvýšit aerodynamický odpor, a zlepšit tak brzdění vozu.



Obr. 20 Zadní křídlo jako aerodynamická brzda na voze Bugatti Veyron [16]



Obr. 21 Aerodynamická brzda na voze McLaren MP4-12C [17]



## 2.2.4 Ukázky dalších vozů s aktivním křídlem

U dnešních sportovních vozů se aktivní zadní křídla používají čím dál častěji. Aerodynamické vlastnosti, které díky aktivním křídům získáme, několikrát předčí obyčejné pasivní křídla. Aktivní křídlo, kromě již výše uvedených vozů se nachází například na vozech Mercedes-Benz SLS, BMW 3 Grand Turismo nebo Peugeot RCZ.



*Obr. 22 Aktivní křídlo na voze Mercedes-Benz SLS [19]*



*Obr. 23 Aktivní křídlo na BMW 3 GT [18]*



Obr. 24 Aktivní křídlo na voze Peugeot RCZ [20]

Zvláštním případem je vůz Pagani Huayra, který má čtyři nezávisle pracující aktivní klapky. Dvě umístěné na přední a dvě na zadní části vozu. Tyto klapky jsou automaticky řízeny vlastní řídicí jednotkou, která dostává různé informace, například o rychlosti jízdy, bočním zrychlení nebo úhlu natočení volantu z řídicí jednotky motoru a ze systému ABS, podle kterých natáčí klapky do nejefektivnější polohy pro získání buď maximálního přítlaku, nebo minimálního aerodynamického odporu v závislosti na dané situaci. Díky tomu, že klapky mohou měnit svoji polohu nezávisle na sobě, dokáží předcházet nadměrnému naklánění vozu při průjezdu zatáčkami tak, že v levotočivé zatáčce zvýší přítlak na levé straně vozu, která by jinak měla tendenci se zvedat a naopak. Celkový aerodynamický odpor vozu Pagani Huayra se pohybuje v rozmezí 0,31 až 0,37. Klapky také fungují jako aerodynamická brzda. Při prudkém brzdění se zadní klapky natočí tak, aby zvyšovaly co nejvíce aerodynamický odpor vozu.



Obr. 25 Naklopné zadní klapky na voze Pagani Huayra [22]

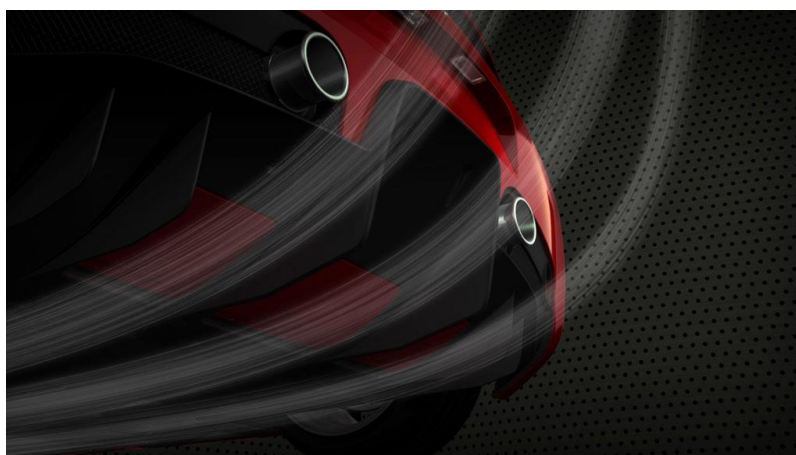




## 2.3 Aktivní klapky difuzoru

Difuzor, používaný u automobilů se nachází na zadní části podvozku, která je tvarovaná tak, aby zlepšovala aerodynamické vlastnosti vozu. Funguje tak, že urychluje proudění vzduchu pod vozidlem, čímž zároveň snižuje tlak pod vozem. Nerovnováha tlaků nad a pod vozem způsobuje vznik přítláčné síly. Čím je tedy rozdíl tlaků nad a pod vozem větší, tím větší aerodynamický přítlak difuzor generuje. Je to v podstatě prvek s rozšiřujícím se průřezem, kde užším průřezem je vzduch pod vozem nasáván vysokou rychlostí a širším průřezem je zpomalený vzduch odváděn za vůz. Difuzor snižuje vysokou rychlost vzduchu nasátého pod vozidlem zpět na rychlost podobnou proudění okolo vozidla, aby nedocházelo ke zvyšování turbulencí za vozem.

Na voze Ferrari 458 Speciale, je difuzor osazen třemi aktivními klapkami, které se mohou nacházet ve dvou polohách v závislosti na aktuálních podmínkách jízdy. Poloha klapky je řízena řídicí jednotkou a mění se současně s polohou zadního křídla vozu. Jestliže jsou klapky uzavřené, difuzor generuje vyšší přítlak. V druhé poloze se klapky dokáží natočit až o 17 stupňů, díky tomu se sníží aerodynamický odpor přibližně o 3 body. Na následujících obrázcích můžeme vidět proudění vzduchu na Ferrari se zavřenými a natočenými klapkami.



Obr. 26 Uzavřené klapky na Ferrari 458, difuzor generuje maximum přítlaku [25]



Obr. 27 Natočené klapky na Ferrari 458, dosahujeme nižšího aerodynamického odporu [25]



## 2.4 Porovnání módů prvků na voze Porsche 911

Jakmile je ve voze Porsche 911 Turbo S spuštěn třetí mód neboli sportovní režim, přední spoiler je maximálně vysunutý, zadní křídlo je natočené a maximálně vysunuté. Při rychlosti 300km/h generují oba tyto aerodynamické prvky celkový přítlak na přední i zadní nápravě až 132kg. Díky zvýšení přítlaku se zlepší stabilita vozu při průjezdu rychlými zatáčkami i akcelerace. Zároveň dochází ke zvýšení aerodynamického odporu vozu, čímž se sice zvýší spotřeba, avšak zlepší se účinnost brzdění.



Obr. 28 Aerodynamická síla při rychlosti 300km/h ve 2. módu (vlevo) a ve 3. módu (vpravo) [2]

Na následujícím obrázku můžeme vidět porovnání změn světlé výšky vozu i změny úhlu mezi štítkem spoileru a povrchem cesty ve všech třech módech aktivního předního spoileru, a porovnání výšky vysunutí a úhlu natočení zadního aktivního křídla na automobilu Porsche 911 Turbo S.

	1. mód	2. mód	3.mód		1. mód	2. mód	3.mód
				<b>Přední úhel</b>			
	zasunutý	částečně vysunutý	vysunutý		zasunutý	částečně vysunutý	vysunutý a natočený
	10.3°	7.8°	6.7°	<b>Úhel natočení</b>	—	—	7°
	156 mm	122 mm	117 mm	<b>Výška vysunutí</b>	—	25 mm	75 mm

Obr. 29 Porovnání módů aktivních aerodynamických prvků na voze Porsche 911 Turbo S [2]

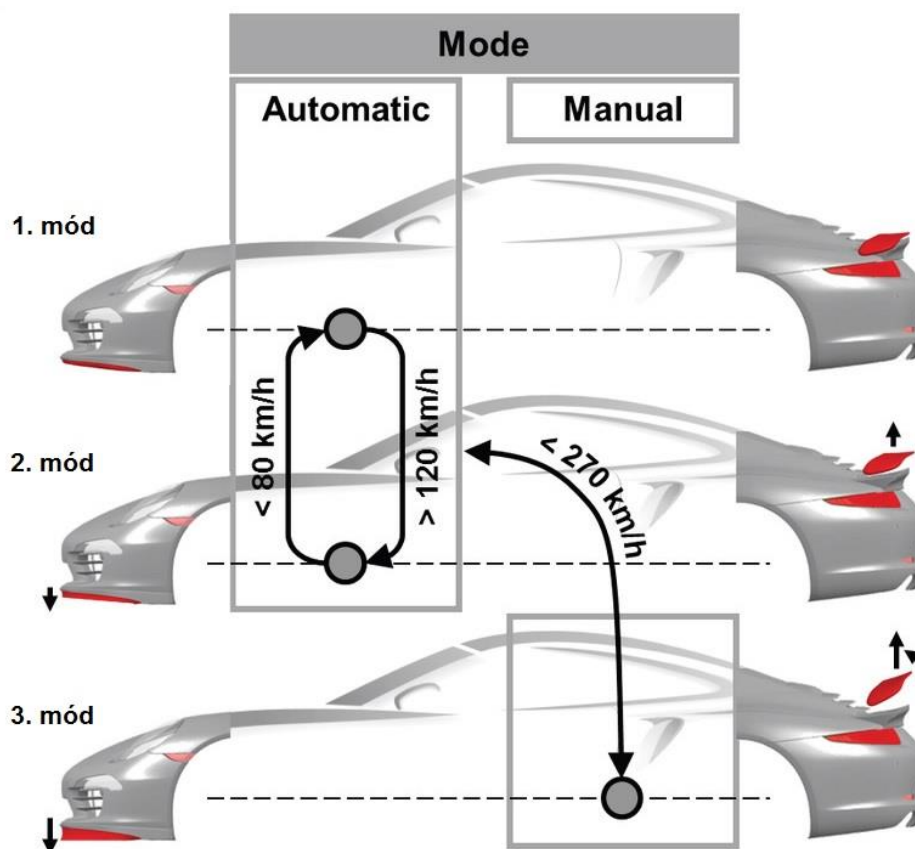


## 2.5 Řízení aktivních prvků na voze Porsche 911

Vysouvání a zasouvání předního spoileru i zadního křídla u vozu Porsche 911 Turbo S probíhá automaticky pomocí řídicí jednotky v závislosti na aktuální rychlosti vozu mezi výchozí polohou "1. mód" a druhou polohou "2. mód". Přední spoiler i zadní křídlo se automaticky vysune do druhé polohy při rychlostech přesahujících 120 km/h, zpět do výchozí polohy se vrátí, pokud rychlost jízdy klesne pod 80 km/h.

Pro aktivování 3. módu nám slouží tlačítko na hlavním panelu uvnitř automobilu. Pro deaktivaci tohoto módu stačí stejné tlačítko stisknout znovu.

Vysouvání předního spoileru a zadního křídla je i u 3. módu synchronní, tzn., že oba aerodynamické prvky se vysouvají současně. Avšak při deaktivaci tohoto módu zadní křídlo zůstává stále vysunuté, do té doby, dokud rychlost jízdy neklesne pod 120 km/h, kvůli zlepšení brzdného účinku. Stejně tak naopak, pokud je rychlost automobilu vyšší jak 270 km/h, tak tento mód nelze vypnout, z důvodu zachování jízdní stability. Přehled strategie přepínání módů na voze Porsche 911 Turbo S lze vidět na následujícím obrázku:



Obr. 30 Strategie přepínání mezi módy u vozu Porsche 911 Turbo S [2]



### 3 Aktivní aerodynamika motorového prostoru

Hlavním důvodem pro vývoj aktivní aerodynamiky v motorovém prostoru bylo zřejmě to, že proud vzduchu směřující do motorového prostoru zároveň působí proti pohybu automobilu a tím zvyšuje jeho aerodynamický odpor. Proud vzduchu vstupující do motorového prostoru tvoří přibližně 10% z celkového aerodynamického odporu. Při pohodové jízdě se motor nezahřívá tak moc, jako při agresivní jízdě někde na okruhu nebo v dopravní zácpě. Proč bychom tedy měli chladit motor i v případě, že se nepřehřívá a zvyšovat tak zbytečně aerodynamický odpor i spotřebu? K tomuto nám slouží aktivní větrací otvory umístěné v přední části automobilu.

Aktivní aerodynamika v motorovém prostoru se běžně používá u novějších sportovních vozů, jako je například Ford Mustang, Ford Focus nebo u některých vozů značky BMW. Nejvíce ocení aktivní větrací otvory řidiči Pick-upů či SUV, kde je rozdíl ve spotřebě velmi znát.

Aktivní větrací otvory jsou primárně navrženy ke snížení spotřeby paliva díky redukci aerodynamického odporu. Jestliže se motor nepřehřívá, aktivní větrací otvory jsou automaticky uzavřeny. Proud vzduchu neproudí skrz chladič systém a díky tomu dokážeme snížit aerodynamický odpor vozu a dosáhnout tak vyšší maximální rychlosti. Jakmile teplota motoru stoupne ke kritické hodnotě, klapky na otvorech se automaticky otevrou a proud vzduchu začne proudit skrz motorový prostor a ochlazovat jej.

Uzavřením větracích otvorů dokážeme snížit aerodynamický odpor přibližně o 3 až 5 procent. Aktivní otvory na voze Chevrolet Malibu vyrobeném v roce 2013 umožňují snížit aerodynamický odpor o  $\Delta c_D=0,007$ . [30]



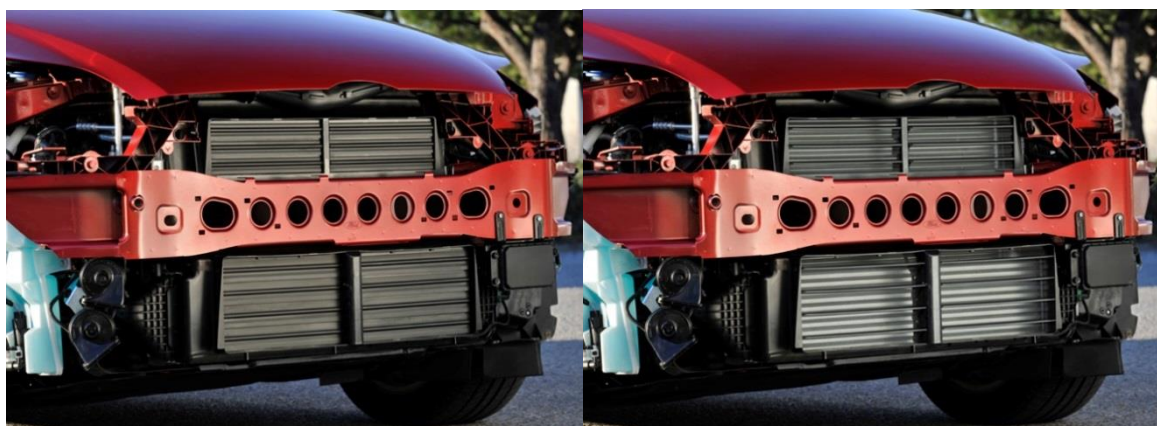
Obr. 31 Proudění vzduchu kolem vozu s uzavřenými klapkami [9]





Obr. 32 Proudění vzduchu kolem vozu s otevřenými klapkami [9]

Větrací otvory jsou zakryty klapkami. Všechny tyto klapky jsou spojeny dohromady pomocí táhel, a díky tomu stačí, aby v případě natáčení klapky, pohon otáčel pouze s jedinou klapkou a všechny ostatní se budou točit s ní. Natočení klapky je regulováno řídicí jednotkou motoru. Například na voze Ford Focus můžou být klapky natočeny do 16 různých poloh, které závisí na množství vzduchu, který je potřeba na ochlazení motoru. Řídicí jednotka rozhodne podle rychlosti vozidla, teploty chladicí kapaliny a teploty okolního vzduchu o úhlu natočení klapky a pošle příkaz do pohonu, který klapky natočí.



Obr. 33 Uzavřené klapky (vlevo) a otevřené klapky (vpravo) na voze Ford Focus [3]



Jestliže je motor vypnutý, klapky jsou automaticky otevřené na maximum. Když potom budeme chtít motor nastartovat za studena, klapky se okamžitě uzavřou a pomáhají tak co nejrychleji zvýšit teplotu studeného motoru. To zase pomáhá ke snížení spotřeby, než se motor dostane na provozní teplotu.

Aktivní větrací otvory se při startu motoru vždy automaticky kalibrují. Tato kalibrace trvá okolo 15 až 20 sekund. Pokud je vše v pořádku, tak kalibrace skončí. Jestliže se však vyskytne nějaký problém, který přetrvává déle jak 10 sekund, kalibrace skončí a klapky se natočí tak, aby otvory byly maximálně otevřené a nemohlo dojít k přehřátí motoru. Zároveň se uloží chybný kód v řídicí jednotce, který je možné odhalit po připojení na diagnostické zařízení.



*Obr. 34 Ukázka aktivních větracích klapek [14]*



## ZÁVĚR

V dnešní době se aktivní aerodynamické prvky používají na vozech čím dál více. Je to způsobeno tím, že aktivní prvky dokáží měnit aerodynamické vlastnosti automobilu v průběhu jízdy pomocí různých pohyblivých součástí umístěných na karosérii, zatímco pasivní aerodynamické prvky mají na stabilitu automobilu při různých rychlostech stále stejný vliv.

Důležitými aerodynamickými vlastnosti vozů jsou aerodynamický odpor a vztlak. Při návrhu vozů se snažíme mít obě tyto hodnoty co nejnižší. Protože s nízkým aerodynamickým odporem dosahujeme vyšší maximální rychlosti nebo nižší spotřeby, a se snižujícím se vztlakem roste přítlak a tím se zlepšují jízdní vlastnosti vozu. Pokud bychom používali pouze pasivní aerodynamické prvky, museli bychom se při nastavování prvků vozu rozhodovat mezi permanentně vyšším aerodynamickým odporem, ale díky tomu i vyšším přítlakem, nebo nižším aerodynamickým odporem, a zároveň vyšším vztlakem. Při použití aktivních aerodynamických prvků dokážeme tyto parametry, přítlak i odpor, měnit v reálném čase. Vše pak závisí na aktuálních jízdních podmínkách, jako je rychlost vozu, teplota motoru nebo to, jestli právě projíždíme zatáčkou. Řídící jednotka neustále zjišťuje aktuální stav a podle toho řídí aktivní prvky. Může například vysouvat přední spoiler, zadní křídlo, otevírat a zavírat klapky otvorů pro proudění vzduchu na chlazení motoru, nebo natáčet zadní křídlo při brzdění do vysokých úhlů kvůli zvýšení aerodynamického odporu a tím zkracovat brzdnou dráhu. Díky aerodynamickým prvkům tedy dokážeme například zvýšit přítlak vozu, aby držel stabilně při průjezdu zatáčkami, nebo snížit aerodynamický odpor pro dosažení nižší spotřeby paliva.

Dá se očekávat, že v následujících letech bude přibývat automobilů, které budou osazeny aktivními aerodynamickými prvky, jak z důvodu zlepšení jízdních vlastností, tak i třeba proto, že zásoby ropy jsou na zemi omezené, a i malá úspora paliva na jednom voze se v celkovém množství vozů rapidně projeví.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HUCHO, W-H. *Aerodynamics of road Vehicles*. 4 ed. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1998, 918 s. ISBN 07-680-0029-7
- [2] MEDER, J. *Aerodynamic Shapeshifter – The New Porsche 911 Turbo*. In: WIEDEMANN, J. *Progress in Vehicle Aerodynamics and Thermal Management: Proceedings of the 9th FKFS-Conference*. Renningen: expert verlag, 2013, s. 102-119. ISBN 978-3-8169-3253-6.
- [3] 2012 FORD FOCUS ACTIVE GRILLE SHUTTERS. I-CAR [online]. [2011] [cit. 2013-11-08]. Dostupné z WWW: <[http://pdmdev.i-car.com/html\\_pages/technical\\_information/advantage/advantage\\_online\\_archives/2011/062911.shtml](http://pdmdev.i-car.com/html_pages/technical_information/advantage/advantage_online_archives/2011/062911.shtml)>
- [4] Dostupné z WWW: <<http://www.porsche.com/usa/models/911/911-turbo/chassis/porsche-active-aerodynamics-paa/>>
- [5] Wikipedia, the free encyclopedia [online]. [29-04-2014] [cit. 2014-05-25]. Automobile drag coefficients. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Automobile\\_drag\\_coefficients](http://en.wikipedia.org/wiki/Automobile_drag_coefficients)>
- [6] Wikipedia, the free encyclopedia [online]. [07-05-2014] [cit. 2014-05-25]. Angle of attack. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Angle\\_of\\_attack](http://en.wikipedia.org/wiki/Angle_of_attack)>
- [7] Wikipedia, the free encyclopedia [online]. [23-05-2014] [cit. 2014-05-25]. Drag coefficient. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Drag\\_coefficient](http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient)>
- [8] 2014 Porsche 911 Turbo S – Aerodynamics. In: Youtube [online]. [19-07-2013] [cit. 2014-05-18]. Dostupné z WWW: <[https://www.youtube.com/watch?v=LVV\\_0014e9M](https://www.youtube.com/watch?v=LVV_0014e9M)>
- [9] Dostupné z WWW: <[http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/efficientdynamics/phase\\_2/technology/aerodynamics\\_2013.html](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/efficientdynamics/phase_2/technology/aerodynamics_2013.html)>
- [10] Ford Focus Active Grill Shutters. In: Youtube [online]. [24-03-2011] [cit. 2014-05-18]. Dostupné z WWW: <<https://www.youtube.com/watch?v=fE87WmiEwyI>>
- [11] Dostupné z WWW: <<http://bec.fyzika.net/silomer.html>>
- [12] Dostupné z WWW: <<http://krepelka.com/FSX/1student/4.htm>>
- [13] Angle of attack [online]. [07-04-2000] [cit. 2014-05-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.insideracingtechnology.com/tech103anglattack.htm>>
- [14] Dostupné z WWW: <<http://www.valeo.com/en/page-transverses-gb/popin-diaporama-en/popin-diaporama-ths-en/diaporama-active-grill-shutter.html>>
- [15] Autoevolution [online]. [07-01-2010] [cit. 2014-05-21]. Brutally reducing all kinetic energy. Dostupné z WWW: <<http://www.autoevolution.com/news/brutally-reducing-all-kinetic-energy-the-romantic-high-tech-brake-guide-15189.html>>



- [16] Dostupné z WWW: <<http://www.diecastxchange.com/forum1/topic/73028-bugatti-veyron-pur-sang-autoart/>>
- [17] Autozine [online]. [20-07-2011] [cit. 2014-05-20]. McLaren MP4-12C. Dostupné z WWW: <[http://www.autozine.org/Archive/McLaren/new/MP4\\_12C.html](http://www.autozine.org/Archive/McLaren/new/MP4_12C.html)>
- [18] Dostupné z WWW: <[http://www.guideautoweb.com/en/galleries/19643/bmw\\_3\\_series\\_gran\\_turismo-a\\_question\\_of\\_cross-breeding/?im=14](http://www.guideautoweb.com/en/galleries/19643/bmw_3_series_gran_turismo-a_question_of_cross-breeding/?im=14)>
- [19] Dostupné z WWW: <[http://www.edmunds.com/mercedes-benz/sls-amg-gt/2014/pictures/2013\\_mercedes-benz\\_sls\\_amg\\_gt\\_coupe\\_active\\_rear\\_spoiler\\_detail\\_\\_38.html?sub=convertible](http://www.edmunds.com/mercedes-benz/sls-amg-gt/2014/pictures/2013_mercedes-benz_sls_amg_gt_coupe_active_rear_spoiler_detail__38.html?sub=convertible)>
- [20] Peugeot RCZ review [online]. [13-09-2011] [cit. 2014-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://drivemeonline.com/peugeot-rcz-review-the-double-bubble-peugeot-can-bank-on/>>
- [21] Wikipedia, the free encyclopedia [online]. [13-05-2014] [cit. 2014-05-24]. Pagani Huayra. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Pagani\\_Huayra](http://en.wikipedia.org/wiki/Pagani_Huayra)>
- [22] Dostupné z WWW: <<http://www.pagani.com/it/huayra/default.aspx>>
- [23] Wikipedia, the free encyclopedia [online]. [08-01-2014] [cit. 2014-05-24]. Diffuser (automotive). Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Diffuser\\_\(automotive\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Diffuser_(automotive))>
- [24] 2014 Ferrari 458 Speciale – Aerodynamics. In: Youtube [online]. [10-09-2013] [cit. 2014-05-23]. Dostupné z WWW: <<https://www.youtube.com/watch?v=KRgyLtwQxwU>>
- [25] Dostupné z WWW: <<http://458speciale.ferrari.com/en/>>
- [26] Dostupné z WWW: <<http://www.supraforums.com/forum/showthread.php?662901-Euro-Spats-Stillen-Sides-Oem-Bumper-Euro-Scoop-TRD-Spoiler-and-Active-Spoiler./page2>>
- [27] Dostupné z WWW: <<http://www.volkswagen-x11.com/en/vision/aerodynamic>>
- [28] 2008 Škoda Superb TSI [online]. [28-02-2013] [cit. 2014-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.carfolio.com/specifications/models/car/?car=175153>>
- [29] Aerodynamika ušetří víc paliva než odlehčení auta. Záleží na detailech [online]. [18-07-2013] [cit. 2014-05-19]. Dostupné z WWW: <[http://auto.idnes.cz/aerodynamika-mercedes-benz-dde-/automoto.aspx?c=A130708\\_210416\\_automoto\\_vok](http://auto.idnes.cz/aerodynamika-mercedes-benz-dde-/automoto.aspx?c=A130708_210416_automoto_vok)>
- [30] Tech Talk: Grille Shutters aid fuel economy [online]. [19-10-2012] [cit. 2014-05-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.wheels.ca/news/tech-talk-grille-shutters-aid-fuel-economy/>>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	[m <sup>2</sup> ]	čelní plocha automobilu
c <sub>D</sub>	[-]	koeficient celkového aerodynamického odporu
c <sub>D0</sub>	[-]	koeficient aerodynamického odporu tvaru vozu
c <sub>Di</sub>	[-]	koeficient aerodynamického odporu vzniklého vztlakem
c <sub>L</sub>	[-]	koeficient celkového aerodynamického vztlaku
c <sub>LF</sub>	[-]	koeficient aerodynamického vztlaku na přední nápravu
c <sub>LR</sub>	[-]	koeficient aerodynamického vztlaku na zadní nápravu
D	[N]	aerodynamický odpor
k	[-]	k-faktor
p	[Pa]	tlak vzduchu
v	[m.s <sup>-1</sup> ]	rychlost proudění
Δ	[-]	poměr šířky a délky vozu
ρ	[kg.m <sup>-3</sup> ]	hustota vzduchu