



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

PRINCIPY KONSTRUKCE AERODYNAMICKÉHO TVARU KAROSERIE VOZIDEL

BASIC CONSTRUCTION PRINCIPLES OF BODY VEHICLE AERODYNAMICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ALEŠ OSLIZLO

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARIÁN LAURINEC

BRNO 2008

Abstrakt

V práci jsou vysvětleny principy konstrukce aerodynamického tvaru karoserie vozidel, koeficient odporu při obtékání vzduchu, vliv na průběhy tlaků a vlastnosti mezní vrstvy. Dále jsou ukázány základní aerodynamické tvary karoserie u osobních, užitkových a závodních automobilů.

Klíčová slova

Aerodynamika, konstrukce, vozidlo, vzduch, koeficient odporu, obtékání, mezní vrstva, tlak.

Abstract

In this thesis are explained basic construction principles of body vehicle aerodynamics, drag coefficient by circumfluence of vehicle, influence to pressures process and characteristics of boundary layer. Afterwards are shown basic aerodynamic shapes of body vehicle by personal, useful and racing cars.

Key words

Aerodynamics, construction, vehicle, air, drag coefficient, circumfluence, boundary layer, pressure.

OSLIZLO, A. *Principy konstrukce aerodynamického tvaru karoserie vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 28 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marián Laurinec.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma „Principy konstrukce aerodynamického tvaru karoserie vozidel“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších zdrojů, uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 23.5. 2008

.....
(podpis autora)

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce Ing. Mariánu Laurincovi za odbornou pomoc, rady a cenné připomínky při zpracování této práce.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Oslizlo Aleš

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:

Principy konstrukce aerodynamického tvaru karoserie vozidel

v anglickém jazyce:

Basic construction principles of body vehicle aerodynamics

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zaměřena na zpracování aerodynamických principů využívaných při konstrukci tvaru karoserie vozidla a jejich vliv na průběhy tlaků, vlastnosti mezní vrstvy a s tím související koeficient odporu při obtékání vzduchu. Základní aerodynamické tvary karoserie používané u osobních, užitkových a závodních automobilů.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je vypracování rešerše v oblasti aerodynamiky vozidel. Popsání základních principů a jejich aplikace do tvarové konstrukce karoserie vozidel.

Bakalářská práce musí obsahovat:

1. Obecné principy aerodynamického tvaru karoserie vozidel (vzdušný odpor, obtékání vozidla, mezní vrstva, rozložení tlaků).
2. Vliv profilu přední a zadní části karoserie na velikost součinitele odporu a přitlaku.
3. Aerodynamické prvky v tvaru karoserie osobních, užitkových a závodních vozidel.

Seznam odborné literatury:

[1]Heinz Heisler: Advanced Vehicle Technology, ISBN 07-506-5131-8

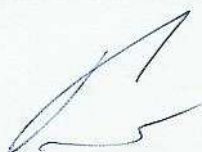
[2]Vlk František: Dynamika motorových vozidel, ISBN 80-239-0024-2

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marián Laurinec

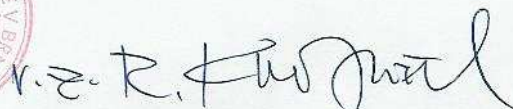
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 28.11.2007

L.S.



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Obsah

Úvod	9
1. Historie aerodynamiky vozidel.....	10
2. Obecné principy aerodynamického tvaru karoserie vozidel.....	12
2.1 Aerodynamický tunel	12
2.2 Vzdušný odpor	13
2.3 Obtékání vozidla	14
2.4 Mezní vrstva.....	16
2.5 Rozložení tlaku	18
3. Typy karoserií osobních automobilů	19
4. Vliv profilu části karoserie na velikost součinitele odporu a přítlaku.....	20
4.1 Přední část karoserie	20
4.2 Zadní část karoserie	22
4.3 Střecha.....	22
4.4 Boční část.....	22
5. Aerodynamické prvky v tvaru karoserie užitkových vozidel.....	23
5.1 Nákladní automobily.....	23
5.2 Autobusy	24
6. Aerodynamické prvky v tvaru karoserie závodních vozidel	25
Závěr	27
Seznam použitých zdrojů.....	28

Úvod

Aerodynamika je věda, která se zabývá obtékáním vzduchu kolem těles. Má velký význam především v automobilovém a leteckém průmyslu. Konstrukce automobilů se bez aerodynamické analýzy neobejde. Hlavní důvody proč se aerodynamikou zabývají konstruktéři automobilů na celém světě jsou především snížení spotřeby, zvýšení výkonu, lepší stabilita vozidla a v neposlední řadě snížení hladiny hluku při jízdě vozidla. V dnešní době ceny pohonných hmot stále rostou a je velmi důležité spotřebu paliva co nejvíce redukovat a to dobře řešenou aerodynamikou vozu částečně lze.

Aerodynamické měření (aerodynamická analýza) se provádí v aerodynamickém tunelu na modelech nebo skutečných vozidlech. Měření na skutečných vozidlech jejichž kola se otáčejí je nejpřesnější. V aerodynamické analýze se analyzuje obtékání vzduchu, hodnota koeficientu odporu vzduchu, rozložení tlaků na karoserii a další parametry. Zkonstruováním osobního, užitkového i závodního vozidla, které má příznivé obtékání vzduchu a nízkou hodnotu koeficientu odporu dosáhneme již zmíněných výhod.

U závodních vozů je aerodynamika zcela zásadní, má totiž vliv na maximální rychlost, stabilitu a ovladatelnost vozu. Karoserie závodního vozu prochází mnoha testy v aerodynamickém tunelu, je propracovaná do nejmenších detailů jako například ve Formuli 1, kde se konstruktéři předhánějí a soupeří o cenné setiny sekundy dosažené lepším řešením aerodynamiky jejich monopostu.

1. Historie aerodynamiky vozidel

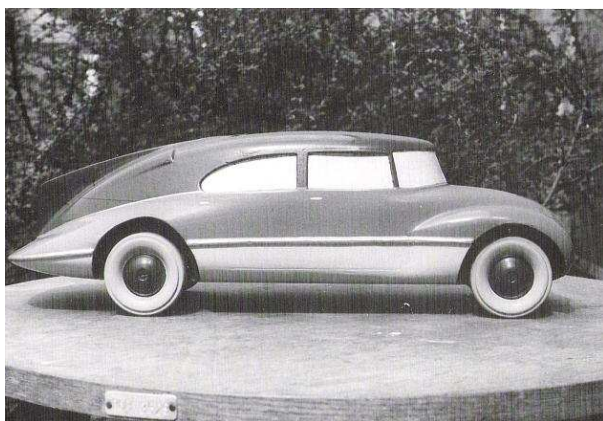
Již v dvacátých letech 19. století se konstruktéři snažili vytvořit automobil s co nejmenším odporem vzduchu, ale jejich snažení se potýkalo s celou řadou problémů a proto zůstávali u osvědčených tvarů karoserie té doby. V roce 1921 představil Edmund Rumpler na berlínském autosalonu první vůz, který byl považován za první aerodynamický automobil. Vůz byl známý pod jménem Tropfenwagen (Obr. 1.1). Rumpler při jeho konstrukci použil konstrukční metody z leteckého průmyslu. Koeficient odporu vzduchu byl změřen u jediného dochovaného automobilu a jeho hodnota byla $c_x=0.28$, což je hodnota srovnatelná dnešním sériově vyráběným moderním automobilům.



Obr. 1.1: Automobil Tropfenwagen [6]



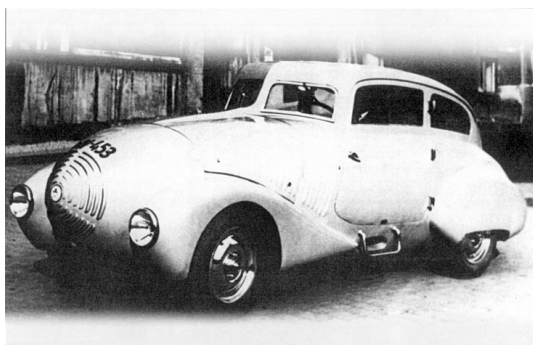
Obr. 1.2: Průběhy proudnic u vozu Tropfenwagen [5]



Obr. 1.3: Model pro Tatra [5]

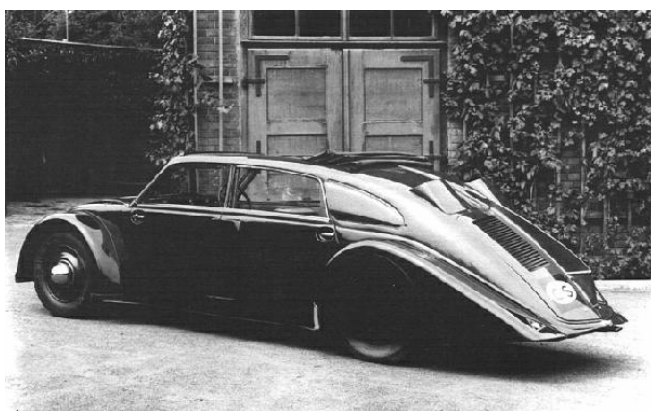
Ve třicátých letech pro automobilky jako Benz, Audi, Maybach, Tatra a jiné pracoval konstruktér jménem Paul Jaray, který automobily konstruoval podle tvaru proudnice. Tyto automobily měly hladkou před, karoserie byla bez zbytečných výstupků, podvozek byl co nejméně členitý a vozy měly vzadu stabilizační ploutev jak můžeme vidět na typickém modelu vozidla pro Tatra (Obr. 1.3).

Současně s Jarayem navrhoval automobily i Wunibald Kamm, který narozdíl od Jaraye prosazoval tvar klínu. V té době se tyto návrhy bohužel moc neujaly, i když dnešní sportovní automobily jako Lamborghini nebo Ferrari tento tvar mají.



Obr. 1.4: Wikov 35 [5]

První aerodynamický automobil, který si mohl občan Československa dovolit koupit byl Wikov 35 (Obr. 1.4) přezdívaný “Kapka”, byl představen v roce 1931.



Obr. 1.5: Tatra 77 [5]

V roce 1934 představil konstruktér Hans Ledwinka pod vedením Ericha Überlackera ve spolupráci s Paulem Jarayem Tatru 77 (Obr. 1.5). Karoserie Tatry byla vytvořena v aerodynamickém tunelu a hodnota koeficientu odporu vzduchu byla 0,212.



Obr. 1.6: Chrysler Airflow [5]

Přibližně ve stejnou dobu jako Tatra 77 se v Americe objevil jako první sériově vyráběný aerodynamický vůz Chrysler Airflow (Obr. 1.6), který měl stejně velký ohlas jako Tatra. Airflow měl velkou propagační akci, kde konstruktéři vychvalovali jeho vlastnosti a design z aerodynamického tunelu.

Od této doby bylo zkonstruováno mnoho aerodynamických automobilů, ale jen některé se opravdu sériově vyráběly a měli úspěch. Hlavním problémem pro automobilky vyrábějící aerodynamické vozy byla veřejnost, která chtěla spíše tradičně vypadající vozy.

2 Obecné principy aerodynamického tvaru karoserie vozidel

Velmi důležité pro konstrukci aerodynamických tvarů karoserie vozidel je znalost základních aerodynamických principů jako jsou: vzdušný odpor, obtékání vozidla, mezní vrstva a rozložení tlaků. Tyto záležitosti se řeší a zkoumají v aerodynamickém tunelu.

2.1 Aerodynamický tunel

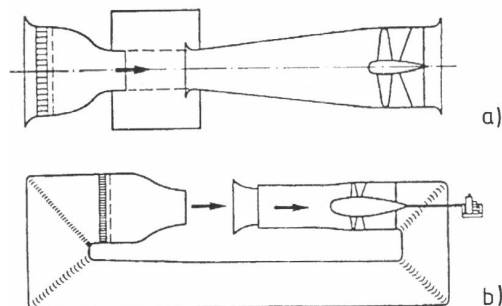
Aerodynamický tunel (Obr. 2.1.1) je speciální stavba pro zkoumání účinků vzduchu na tělesa, v tomto případě na vozidlech. Jeho hlavní částí je velký ventilátor, který slouží k simulaci proudění vzduchu. Měření v aerodynamickém tunelu můžeme provádět buď na skutečných vozidlech nebo na modelech v určitém měřítku. Nejpresnější měření je samozřejmě na skutečných vozidlech jejichž kola se na válcích při měření otáčejí. Aerodynamický tunel má dvě základní konstrukce a to s otevřeným oběhem a uzavřeným oběhem vzduchu (Obr. 2.1.2).

Měření v aerodynamickém tunelu (aerodynamická analýza)

Model nebo skutečný vůz je umístěn v měřicím prostoru. Na karoserii se umístí stovky snímačů rozložení tlaku. Proud vzduchu je vyvolán ventilátorem, který podle velikosti a výkonu může vyvinout rychlost proudu vzduchu až 300 km/h. Hodnoty vlhkosti a teploty vzduchu se během měření přesně udržují. Výsledkem měření jsou koeficient odporu vzduchu, rozložení tlaku, průběhy proudnic a další potřebné parametry pro řešení aerodynamiky vozu.



Obr. 2.1.1: Aerodynamický tunel [3]



Obr. 2.1.2: Schéma aerodynamického tunelu:
a) s otevřeným oběhem,
b) s uzavřeným oběhem vzduchu [2]



Obr. 2.1.3: Testování modelu monopostu Ferrari [8]

2.2 Vzdušný odpor

Jestliže automobil jede, proudí kolem něj vzduch. Proudící vzduch se rozdělí na tři části, část vzduchu proudí kolem horní části karoserie, část, která proudí mezi spodní částí vozidla a vozovkou a část proudí kolem boků vozidla. Tento proudící vzduch klade jedoucímu vozu vzdušný odpor.

Vzdušný odpor zahrnuje víření vzduchu neboli turbulence, čelní odpor vozidla a další účinky na jedoucí automobil. Celkový vzdušný odpor vozidla O_v se vypočítá ze vztahu:

$$O_v = c_x \frac{\rho}{2} S_x v_r^2$$

c_x ...koeficient odporu vzduchu

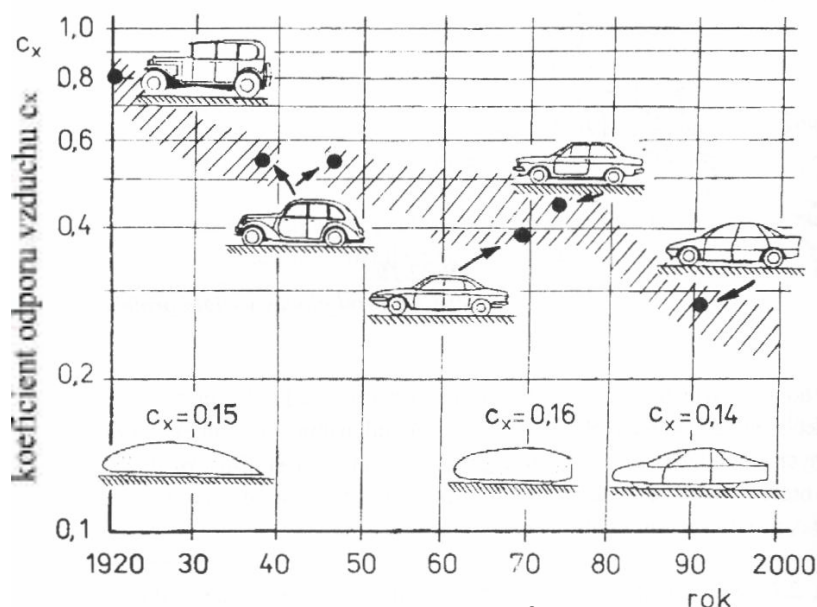
S_x ...čelní plocha vozidla

v_r ...výsledná rychlost proudění vzduchu kolem vozidla, tzv. náporová rychlost

ρ ...hustota vzduchu

Koeficient odporu vzduchu c_x

Koeficient odporu vzduchu je závislý především na tvaru karoserie vozidla. Konstrukcí karoserie se snažíme tento koeficient a tím i vzdušný odpor co nejvíce zmenšit. Tento koeficient se měří v aerodynamickém tunelu a jsou v něm zahrnuty i odpory vznikající průchodem vzduchu chladícím a větracím systémem a třecí odpory kol. Na obr. 2.1 je znázorněna změna velikosti tohoto koeficientu podle tvaru karoserie v proudu času. Obvykle se hodnoty koeficientu odporu vzduchu u novějších osobních automobilů pohybují v rozmezí 0,2 – 0,4.



Obr. 2.1: Vliv tvaru karoserie na velikost koeficientu odporu vzduchu [2]

Čelní plocha vozidla S_x

Tuto plochu získáme čelní projekcí vozidla. Čím menší je tato plocha, tím menší je celkový vzdušný odpor vozidla.



Obr. 2.2: Zjištění čelní plochy S_x [2]

Náporová rychlost v_r

Náporová rychlost se skládá ze dvou částí, z rychlosti vozidla v a z rychlosti větru v_v :

$$v_r = v + v_v$$

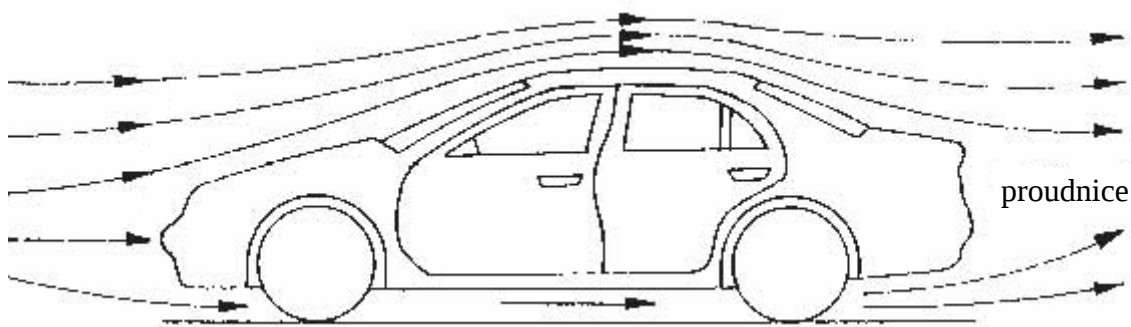
Tato rychlost je důležitá, když se řeší účinek bočního větru nebo jízda automobilu v zatáčkách.

2.3 Obtékání vozidla

Velmi důležité pro dosažení nižšího odporu vzduchu je, aby vzduch obtékal plynule a bez náhlých změn směru a rychlosti. Proud vzduchu se na přední části karosérie rozdělí na proud pod karosérii, proud nad karosérii a na proudy obtékající boční část vozu. Proudnicí je křivka(dráha), po které obtékající vzduch proudí. K proudnicím je rychlost vzduchu tečná. Proudový svazek je spojení proudnic. Proudění můžeme podle tvaru proudnic rozdělit na:

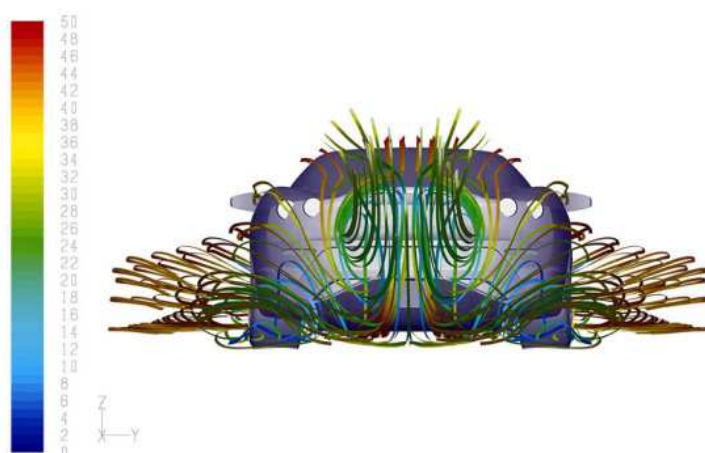
- a) laminární - posouvající částice nerotují, proudnice jsou rovnoběžné a nekříží se,
- b) turbulentní - proudnice se kříží a roztáčí, v důsledku toho vznikají víry.

Na obr. 2.3.1 jsou ukázány proudnice obtékající kolem karosérie vozidla z bočního pohledu. Tyto proudnice lze vidět při měření a zkoumání obtékání vozidla v aerodynamickém tunelu. Pro lepší viditelnost proudnic může být proudící vzduch obarven.



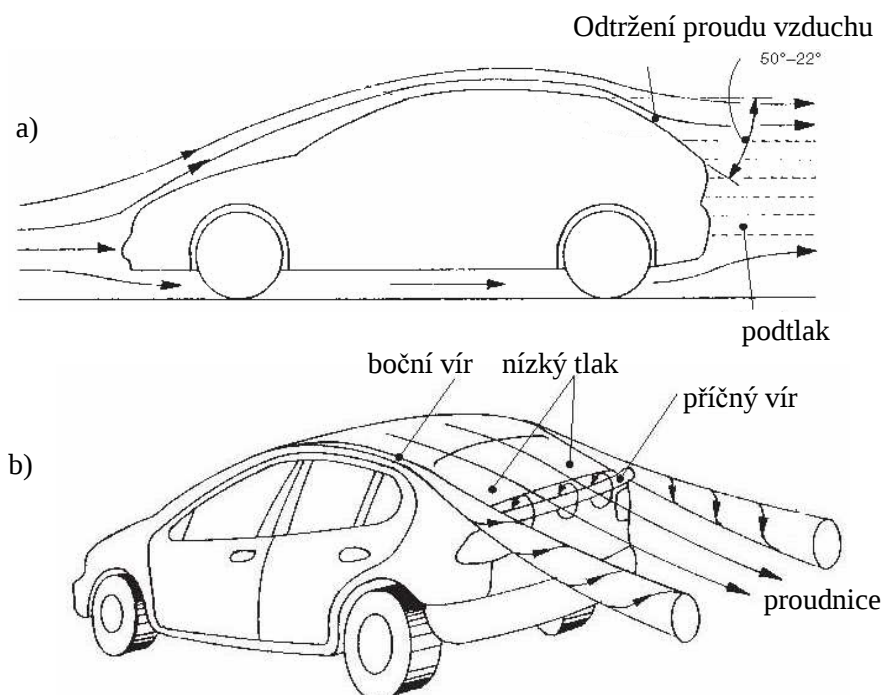
Obr. 2.3.1: Tvar proudnic u automobilu s karosérii liftback nebo sedan z bočního pohledu [1]

Průběh proudnic ze předu automobilu je znázorněn na obr. 2.3.2. Zde už lze vidět turbulence, které vznikají na přední části automobilu Ferrari F430 Scuderia.



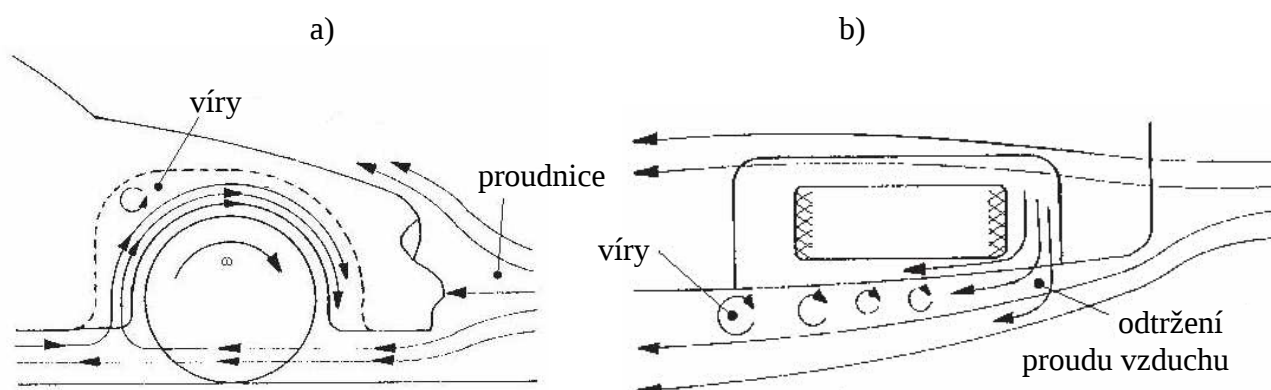
Obr. 2.3.2: Tvar proudnic Ferrari F430 Scuderia zepředu [3]

Na obr. 2.3.3 jsou znázorněny průběhy proudění vzduchu kolem automobilu s karoserií hatchback.



Obr. 2.3.3: Tvar proudnic zadní části automobilu:
a) průběh proudnic z bočního pohledu, b) za automobilem vzniká víření [1]

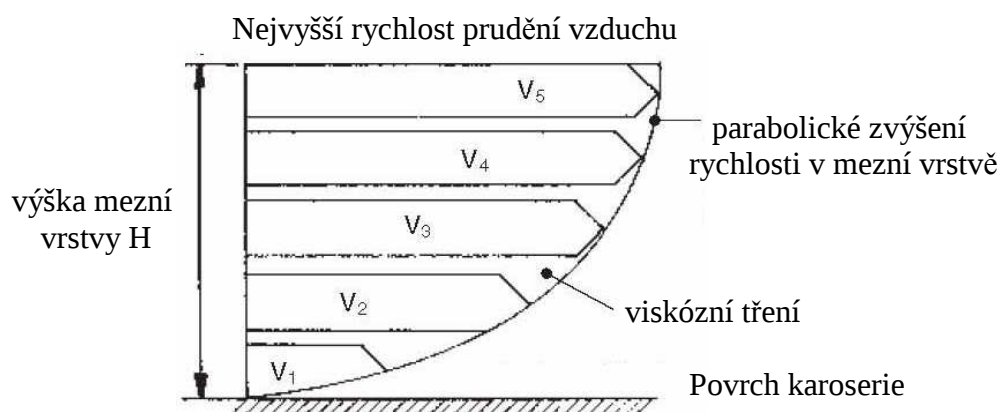
Vzduch který obtéká kolem kol je znázorněn proudnicemi na obr. 2.3.4. Vzduch je strháván rotací kol.



Obr. 2.3.4: Obtékání kola: a) z bočního pohledu, b) ze spodu automobilu [1]

2.4 Mezní vrstva

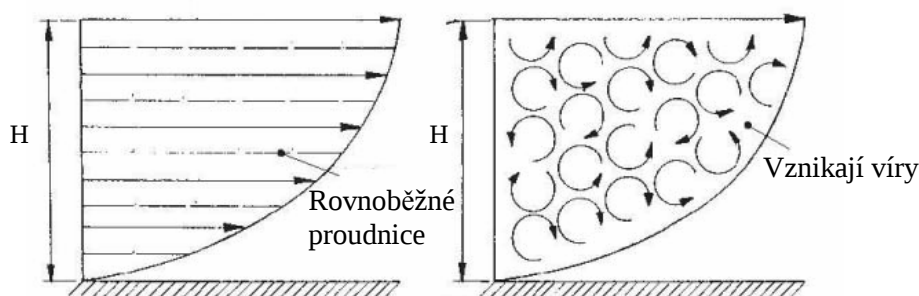
Mezní vrstvu vytváří několik proudnic vzduchu obtékající karoserii vozu v závislosti na rychlosti. Proudnic mění svou rychlost od 0 až po určité maximum. Tato měnící se rychlost je způsobená viskozitou vzduchu, kdy vzniká tření mezi vrstvami vzduchu. Tloušťka této vrstvy narůstá od přídě a svou kritickou tloušťku dosáhne přibližně před zadními koly.



Obr. 2.4.1: Rychlostí nárůst proudu vzduchu v mezní vrstvě [1]

Charakter mezní vrstvy se mění v závislosti na rychlosti, pokud je rychlost nízká jde o laminární proudění v mezní vrstvě (Obr. 2.4.2a) a pokud je rychlost vysoká jde o turbulentní proudění v mezní vrstvě (Obr.2.4.2b).

a) Nízká rychlost- laminární proudění b) Vysoká rychlost-turbulentní proudění

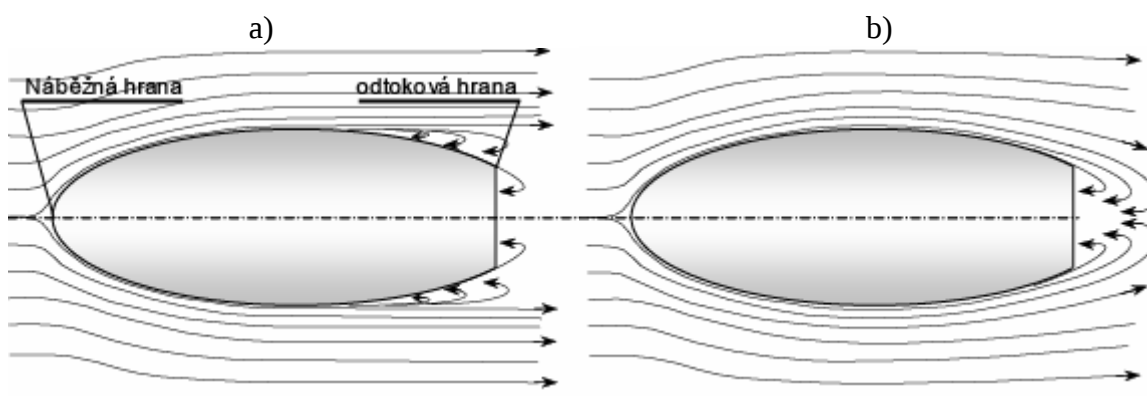


Obr. 2.4.2: Vliv rychlosti na průběh proudnic v mezní vrstvě [1]

Mezní vrstva spodní karoserie vozu a mezní vrstva povrchu vozovky se pod automobilem při jízdě spojí a vznikne tzv. ucpání a tím zmenšení rychlosti vozu. Tuto mezní vrstvu se konstruktéři snaží odstranit.

Odtržení mezní vrstvy

Místo odtržení proudu je závislé na charakteru proudění v mezní vrstvě. Při změně charakteru proudění může dojít ke skokové změně místa odtržení proudu vzduchu. Na obr. 2.4.3a) je mezní vrstva s laminárním prouděním a místo odtržení je v největším meridiánovém průřezu tělesa. U obr. 2.4.3b) je mezní vrstva s turbulentním prouděním a místo odtržení se posouvá blíže k odtokové hraně.



Obr. 2.4.3: Odtržení mezní vrstvy: a) s laminárním prouděním, b) s turbulentním prouděním [9]

Mezní vrstva u závodních automobilů

Ucpávání a následné zmenšení rychlosti vozu je velmi nepříjemné pro konstruktéry závodních vozů Formule 1, kteří se již v 70. letech snažili tento jev odstranit, například umístěním různých ventilátorů do karoserie, které tuto mezní vrstvu odsávali. Jejich snažení ale federace FIA nepochopila a zakazovala.

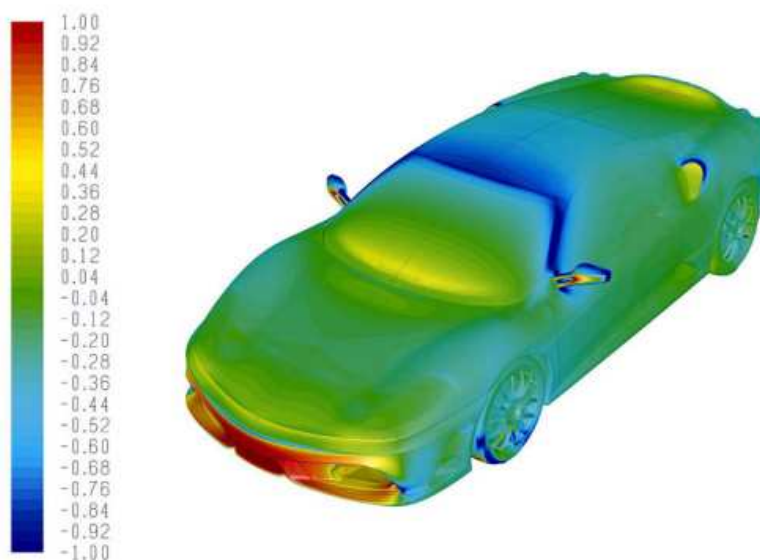
Dnes můžou ve formuli 1 závodit vozidla s plochým, přesně definovaným podvozkem, tzv. referenční rovinou. Povoleným prvkem jsou ejektory, což jsou kanálky vzniklé zvedáním podvozkové roviny, ale i u těchto ejektorů jsou daná přísná pravidla konstrukce. Tyto ejektory mezní vrstvu z části odkloňují.

2.5 Rozložení tlaku

Rozložení tlaku v aerodynamickém tunelu měří stovky snímačů upevněných na karoserii. Výsledné tlakové pole ukazuje místa zvýšeného tlaku na karoserii. U automobilu Ferrari F430 Scuderia je tento tlak nejvyšší na spodní části předního spojleru (Obr. 2.5). Rozložení tlaku se mění s rychlostí obtékání.

Aerodynamický tlak rozlišujeme:

- a) statický
- b) dynamický
- c) celkový – součet statického a dynamického tlaku



Obr. 2.5: Tlakové pole automobilu Ferrari F430 Scuderia [3]

3 Typy karoserií osobních automobilů



Hatchback



Kombi



Liftback



Kupé



Van



Sedan



Kabriolet



Offroad



Pick-Up



Limuzína

Obr. 3.1: Přehled základních typů karoserie vozidel [7]

Další možné typy karoserie:

SUV, Targa, Tudor, Pulman, Spider, MPV, Landaulet, Gran Turismo a další.

4 Vliv profilu přední a zadní části karoserie na velikost koeficientu odporu a přítlaku.

Konstrukce karoserie vozidel osobních, užitkových i závodních automobilů je zaměřena především na nízkou hodnotu koeficientu odporu vzduchu, příznivé obtékání vzduchu a na přítlaku, který vyjadřuje zápornou hodnotu tlaku a příznivě ovlivňuje stabilitu a ovladatelnost vozu.

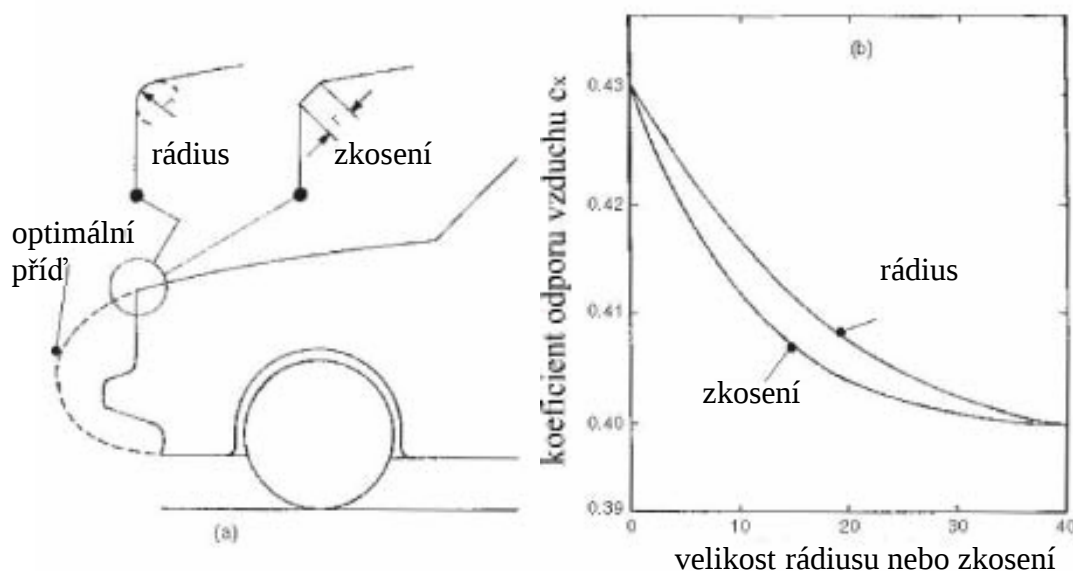
U závodních vozů přišli konstruktéři na to jak dosáhnout největšího přítlaku a zkonstruovali vozy jako obrácené křídlo. Chtěli dosáhnout největšího přítlaku a v letectví dosahovalo křídlo největšího vztlaku. U křídla proudnice obtékající kolem horního povrchu křídla musí za stejný čas urazit delší dráhu než proudnice na spodní části křídla. Tím je rychlost horních proudnic vyšší. Menší rychlost proudnic pod křídlem znamená zvýšení tlaku a tím vznik vztlaku. Tudíž zkonstruováním vozu jako obráceného křídla dostaneme největší přítlak. Přítlak zlepšuje adhezi a tím i jízdní vlastnosti vozu.

4.1 Přední část karoserie

Přední část karoserie je rozhodující část vozu. Zde se rozděluje vzduch na tři výše zmíněné části. Při konstrukci přední části vozu musíme dbát na funkčnost a praktičnost automobilu.

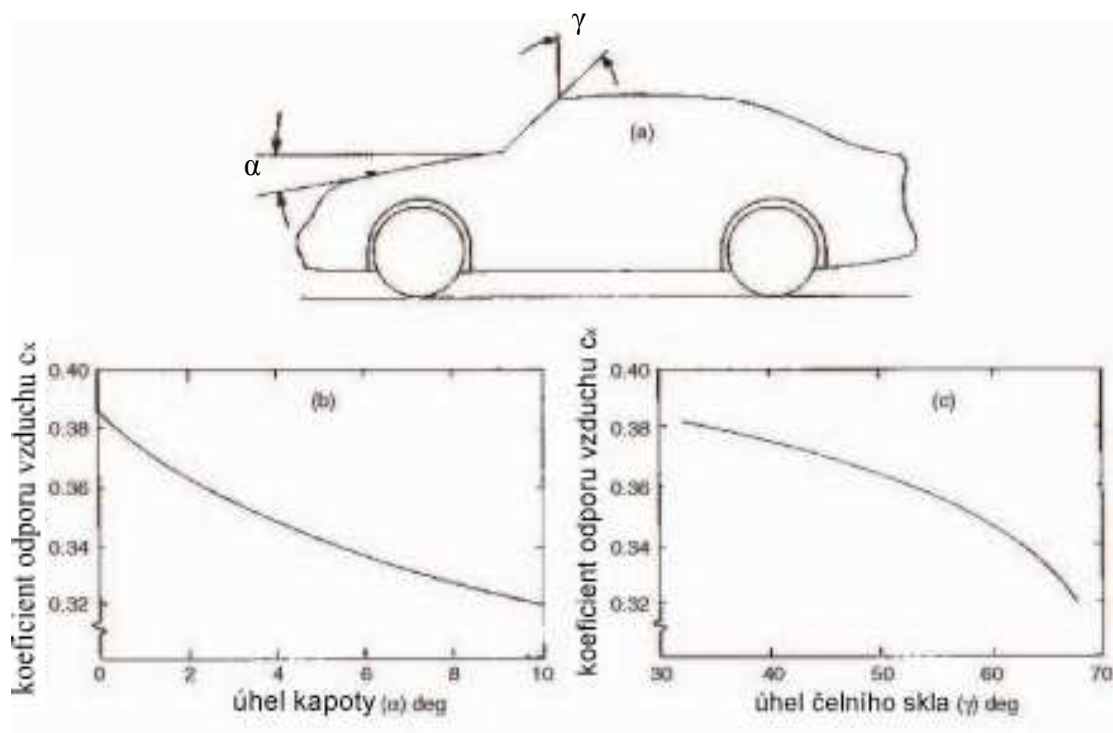
Na obr. 3.1.1 je znázorněn vliv rádiusu nebo zkosení přídě na velikost koeficientu odporu vzduchu.

Čím větší rádius nebo velikost zkosení tím bude menší velikost koeficientu odporu vzduchu.



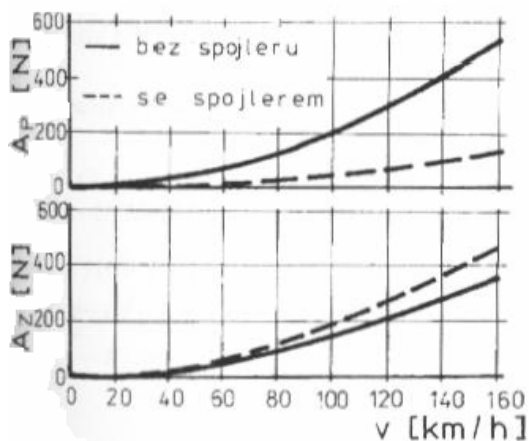
Obr. 4.1.1: Vliv tvaru přídě na součinitel odporu [1]

Nejen příd' nám určuje koeficient odporu vzduchu přední části, ale také úhly kapoty a čelního skla. Z obr. 4.1.2 vidíme, že koeficient odporu vzduchu se snižuje se vzrůstajícím úhlem jak kapoty, tak i čelního skla.



Obr. 4.1.2: Vliv úhlu kapoty a předního skla na velikost součinitele odporu [1]

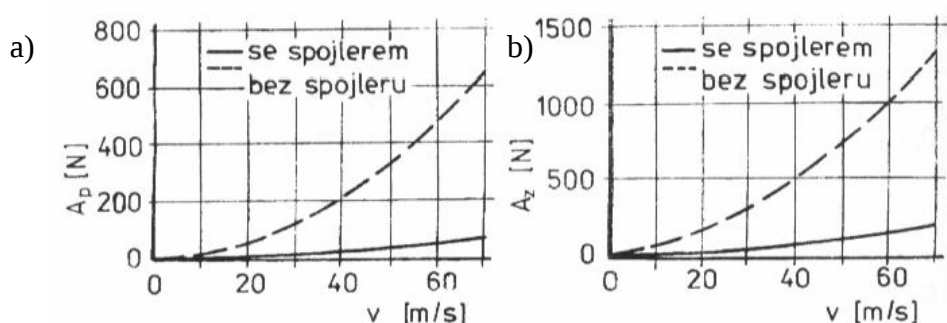
Jestliže chceme zmenšit vztlak na přídí, přidáme na automobil přední spoiler. Na obr. 4.1.3 lze vidět jeho vliv na velikost vztlaku obou náprav.



Obr. 4.1.3: Vliv předového spojleru na velikost vztlaku přední nápravy (A_p) a zadní nápravy (A_z) [2]

4.2 Zadní část karoserie

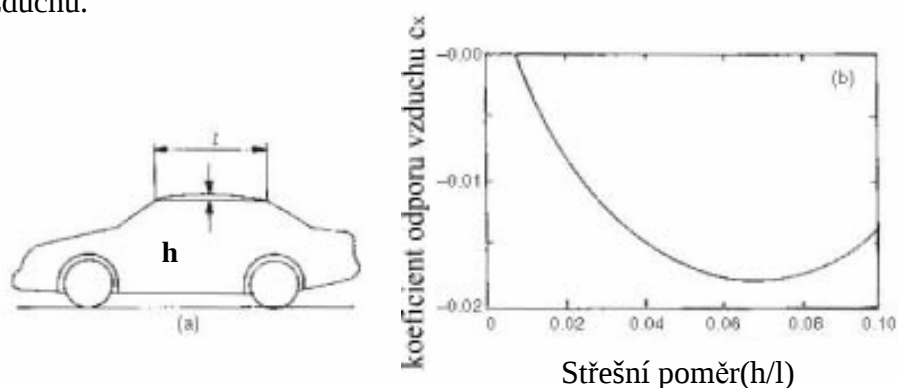
Jestliže chceme zvýšit přítlak (záporný vztlak) automobilu, přidáme na automobil zadní spoiler. Na obr. 4.2 lze vidět jeho vliv na velikost vztlaku obou náprav.



Obr. 4.2: Vliv zadního spojleru na vztlak a) přední nápravy(A_p), b) zadní nápravy(A_z) [2]

4.3 Střecha

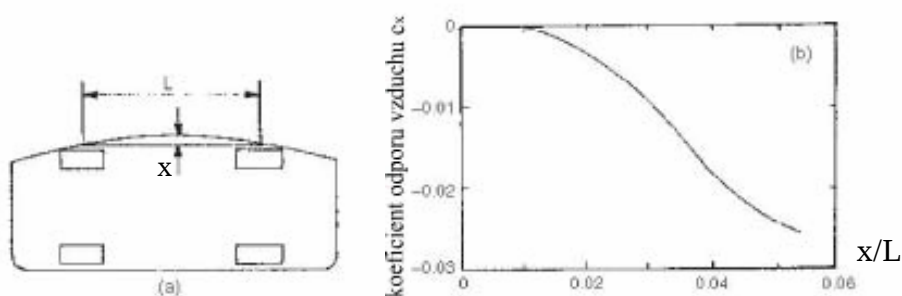
Poměr výšky střechy k její délce vyjadřuje střešní poměr. Do hodnoty střešního poměru přibližně 0,07 platí, čím větší je tento poměr tím více klesne celková hodnota koeficientu odporu vzduchu.



Obr. 4.3: Vliv profilu horní části karoserie na velikost součinitele odporu [1]

4.4 Boční část karoserie

Ze závislosti na obr. 4.4 lze vyčíst, že celkový koeficient odporu vzduchu se bude zmenšovat se zvyšujícím se bočním poměrem automobilu. Poměr délek x/L je boční poměr.

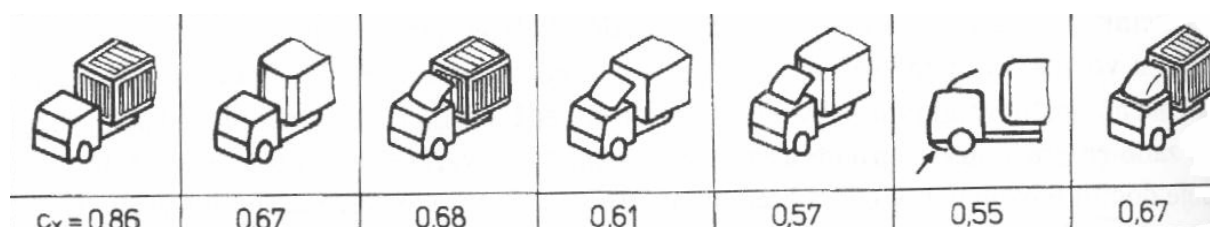


Obr. 4.4: Vliv poměru boku automobilu na velikost koeficientu odporu vzduchu [1]

5 Aerodynamické prvky v tvaru karoserie užitkových vozidel

I karoserie moderních užitkových automobilů je z aerodynamického hlediska velmi dobře zpracovaná.

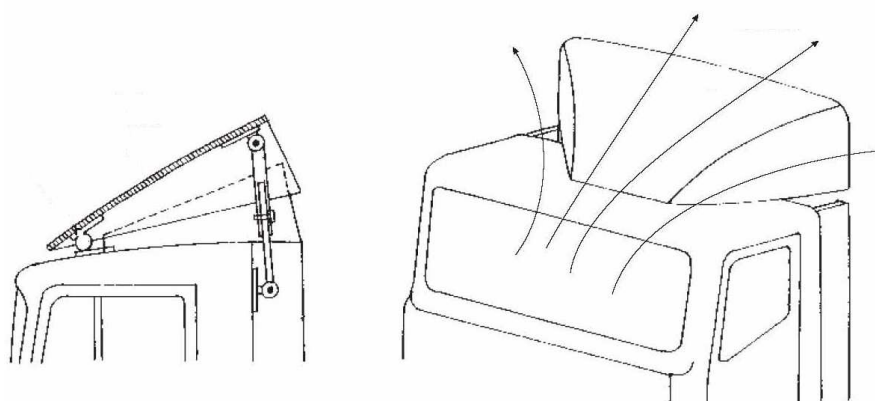
5.1 Nákladní automobily



Obr. 5.1: Různé hodnoty koeficientu odporu vzduchu podle typu kabiny a návěsu [2]

Deflektor

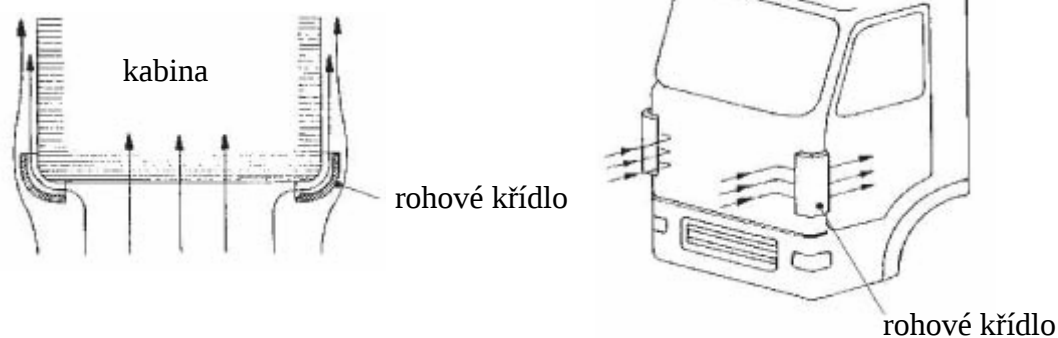
Tento aerodynamický prvek usměrňuje proud vzduchu obtékající horní částí karoserie a tím snižuje celkový odpor vzduchu. Zabraňuje proudů vzduchu mezi kabinou a návěsem.



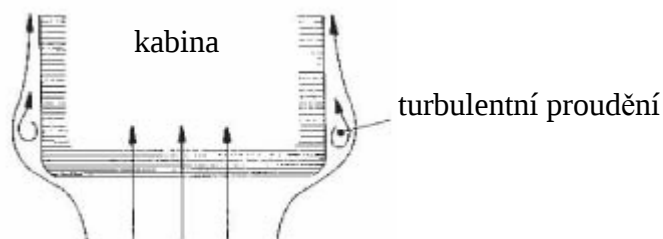
Obr. 5.1: Deflektor [1]

Rohové křídlo

Kabina nákladního automobilu



Obr. 5.1.1: Kabina nákladního automobilu s rohovým křídlem[1]

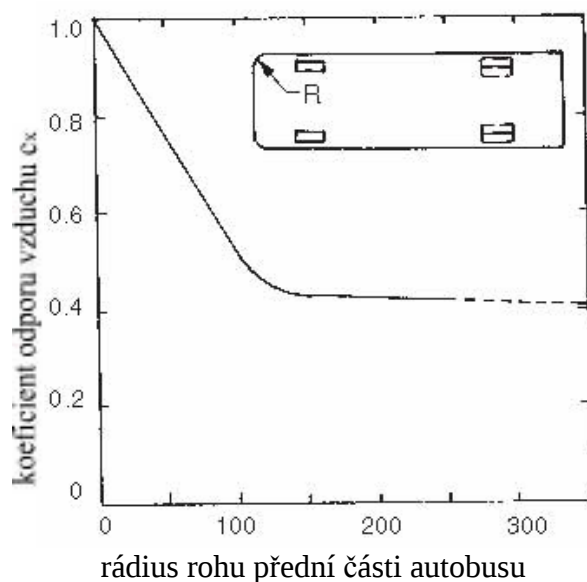


Obr. 5.1.2: Kabina bez rohového křídla [1]

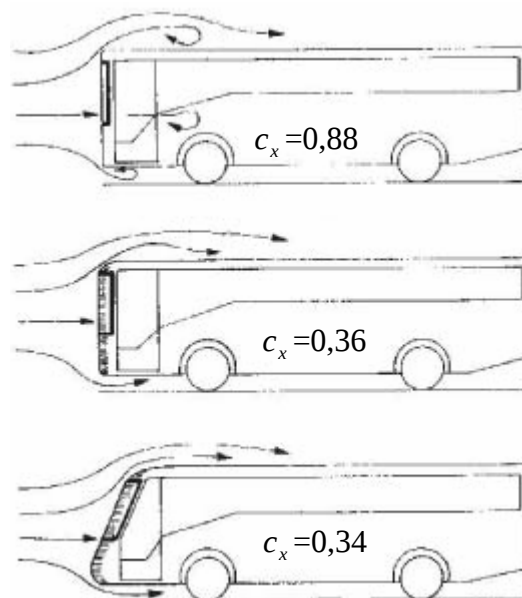
Rohové křídlo usměrňuje proudění vzduchu, tak aby nedocházelo k turbulentnímu proudění a tím k zvětšení odporu vzduchu.

5.2 Autobusy

U autobusů se určuje koeficient odporu vzduchu pomocí rádiusu předních rohů a také podle sklonu čelní plochy.



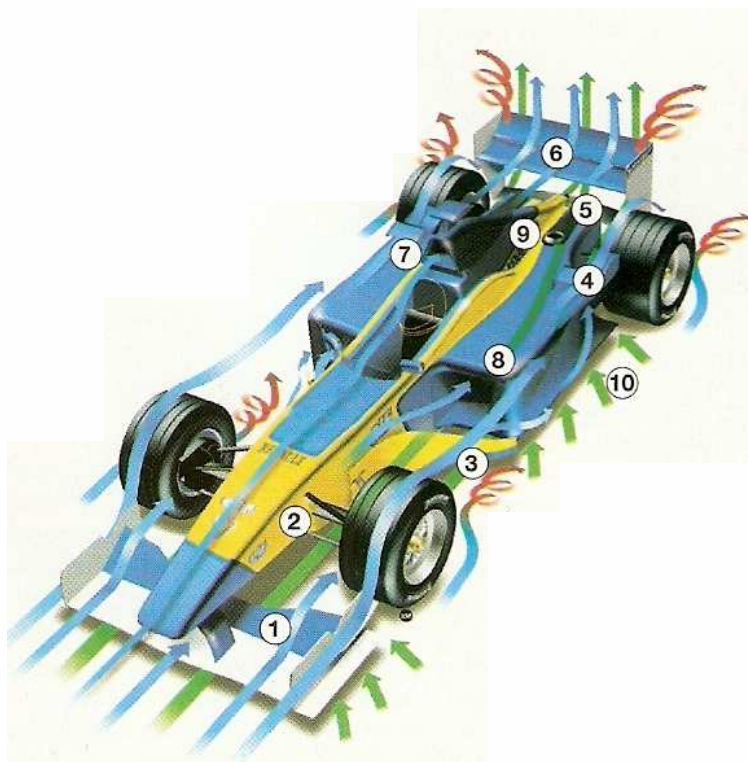
Obr. 5.2.1: Vliv rádiusu přední části karoserie autobusů a autobusu [1]



Obr. 5.2.2: Různé tvary karoserií a jejich vliv na velikost koeficientu odporu vzduchu [1]

6 Aerodynamické prvky v tvaru karoserie závodních vozidel

Monopost Formule 1 je z hlediska aerodynamiky jeden z nejdokonalejších závodních vozů. Na obr. 6.1 jsou ukázány místa deseti nejdůležitějších částí z hlediska aerodynamiky a proudnice obtékající tento vůz.



Obr. 6.1: Deset nejdůležitějších částí Formule 1 z hlediska aerodynamiky [4]

1. Přední křídlo

Je to rozhodující část vozu. Vodorovné plochy křídla vyvolají čtvrtinu celkové přítláčné síly. Svislé plochy usměrňují proudění kolem kol.

2. Spodní ramena závěsů

Nejnovější oblast vývoje, poloha spodních ramen závěsů se snižuje a poloha přídě se zvyšuje, čímž se minimalizují turbulence pod vozem.

3. Deflektory

Usměrňují proudící vzduch do kanálků bočnic a pod vůz.

4. Malé křídla

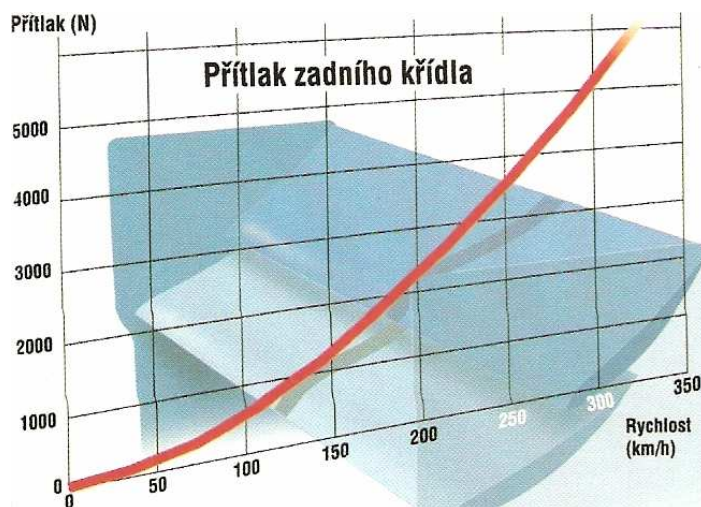
Zvyšují přítlak a usměrňují proud vzduchu kolem zadních kol.

5. Difuzor

Zrýchluje proud vzduchu pod vozem, tím vyvolává přítlak.

6. Zadní křídlo

Při nejvyšší rychlosti vozu dokáže vyvinout přitlačnou sílu odpovídající tíze vozu.



Obr. 6.2: Velikost přitlaku zadního křídla závodního automobilu při zvyšování rychlosti [4]

1. Sací otvor motoru

Tímto otvorem se přivádí vzduch do motoru. Tvarovou konstrukcí tohoto otvoru se optimalizuje výkon motoru bez velkého zvýšení odporu vzduchu.

2. Bočnice

Slouží k chlazení motoru i k zvýšení přitlaku. Horní profil slouží k usměrnění proudu vzduchu na zadní křídlo.

9. Kryt motoru

Musí být navrženo tak, aby nebránilo funkci křídla.

10. Plochá podlaha

Podlaha je konstrukčně velmi omezená a musí mít přesné parametry. Konstrukteři mohou použít ejektory, což jsou kanálky vzniklé zvedáním podvozkové roviny.

Závěr

V této bakalářské práci byly vysvětleny obecné principy aerodynamického tvaru karoserie vozidel. Vzdušný odpor je odpor, který klade vzduch jedoucímu automobilu. Tento odpor se vypočítá z uvedeného vztahu. Pro výpočet vzdušného odporu potřebujeme znát koeficient odporu vzduchu, čelní plochu vozidla, náporovou rychlost a hustotu vzduchu. Obtékání vzduchu kolem vozidla nám ukazují proudnice. Jsou dva druhy proudění vzduchu: laminární a turbulentní. Změnou tvaru karoserie vozidla se mění koeficient odporu vzduchu i proudnice vzduchu obtékající vozidlo. Konstrukteři se snaží navrhovat automobily s co nejpříznivějším obtékáním vozidla a s co nejmenší hodnotou koeficientem odporu vzduchu a vztlaku, přičemž je ku prospěchu získat záporný vztlak, tzv. přítlak. Přítlak pomáhá k lepší stabilitě vozidla, zlepšuje ovladatelnost vozu a adhezi. Koeficient odporu vzduchu, obtékání vozidla i rozložení tlaku na karoserie se analyzuje v aerodynamickém tunelu. Aerodynamickou analýzu můžeme také provádět pomocí softwaru CFD a FLEUNT. Dalším bodem je mezní vrstva, je to vrstva, ve které proudnice vlivem viskozity vzduchu a tření mění svou rychlost od 0 až po určité maximum. Na povrchu karoserie je rychlost proudění vzduchu 0. Místo odtržení mezní vrstvy od povrchu karoserie vozidla je závislé na charakteristice mezní vrstvy. Mezní vrstva může být laminární i turbulentní, podle rychlosti proudícího vzduchu. Dále byly ukázány různé typy karoserií osobních vozidel, vliv tvaru karoserie na velikost koeficientu odporu vzduchu a vliv spojlerů na velikost vztlaku.

Obsahem této práce jsou i aerodynamické prvky v karoserii nákladních automobilů a autobusů a jejich vliv na tvar proudnic a koeficient odporu vzduchu. Aerodynamické prvky v tvaru karoserie závodních vozidel byly znázorněny na vozu Formule 1.

Spotřeba paliva, zvýšení výkonu, dobrá stabilita vozu, nízká hlučnost jsou výhody, které lze pomocí dobře řešené aerodynamiky dosáhnout.

Seznam použitých zdrojů

[1] Heinz Heisler: Advanced Vehicle Technology, ISBN 07-506-5131-8

[2] Vlk František: Dynamika motorových vozidel, ISBN 80-239-0024-2

[3] Aerodynamika, [cit. 2008-05-02]

URL: <<http://www.autolexicon.net/cz/article/aerodynamika>>

[4] Magazín F1 RACING, [6/2002]

[5] Počátky aerodynamiky, [cit. 2008-04-20]

URL: <<http://www.aerotatra.czweb.org/zacatky.htm>>

[6] Historie značky Rumpler, [cit. 2008-04-20]

URL: <<http://magazin.auto.cz/tema/historie-znacky-rumpler.html>>

[7] Typy karoserií osobních automobilů, [cit. 2008-05-19]

URL: <<http://ludeco.blog.cz/0803/typy-karoserii-osobnich-automobilu>>

[8] Auto Tip Speciál [2007]

[9] Tvarový odpor při obtékání těles[cit. 2008-04-11]

URL: <http://www.upce.cz/priloha/kpsdm_termoelear>