

CFD simulace obtékání studie studentské formule FS.03

Bc. Marek Vilím

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Hyhlík, Ph.D.

Abstrakt

Práce pojednává o návrhu numerické simulace obtékání studie studentské formule FS.03 pomocí komerčního programu Fluent. V první fázi je práce zaměřena na návrh karoserie studentské formule FS.03 v souvislosti s aerodynamikou, zejména pak na návrh difuzorového kanálu ve spodní části u zádi vozu. Dále jsou vyhodnoceny silové účinky působící na obtékaný model formule.

Klíčová slova

Studentská formule, CFD, Fluent, aerodynamika, difuzor, silové účinky

1. Úvod

Studentská formule je závodní vůz formulového typu navrhovaný studenty dle pravidel mezinárodní organizace Formula Student/SAE. Technické univerzity z celého světa navrhují obdobný vůz a vzájemně soutěží na oficiálních závodech Formula Student/SAE ve statických a dynamických disciplínách. Soutěž samotná tedy nezahrnuje jen vlastní závod vozů, ale také obhajobu jednotlivých konstrukčních řešení před komisí a marketingový plán. Soutěž celkově motivuje členy (studenty) daného týmu ke konkurenčnímu boji s ostatními týmy a tím neustále podporuje inovační potenciál studentů. Existence této soutěže tedy jednoznačně přispívá jak ke kvalitnějšímu vzdělávání studentů, tak ke konkurenci schopnému prosazování absolventů v praxi.

Tato práce nejprve popisuje návrh karoserie a zejména pak návrh aerodynamického prvku – difuzorového kanálu (dále jen difuzoru). Tento prvek je umístěn ve spodní části na zádi vozu studie studentské formule FS.03 proto, aby byla vyvinuta větší přítláčná síla na zadní nápravu. Po první analýze a tvarové optimalizaci samotného difuzoru provedené pomocí numerické simulace se práce posouvá do CFD výpočtů celého modelu formule ve 3D prostoru za účelem přesnějšího popsání jak samotné geometrie difuzoru, tak proudového pole v příslušných oblastech zájmu. 3D numerické výpočty jsou provedeny ve dvou geometrických variantách – vůz s difuzorem a bez difuzoru. Na základě těchto variant byly vyhodnoceny silové účinky působící na obtékaný model formule.

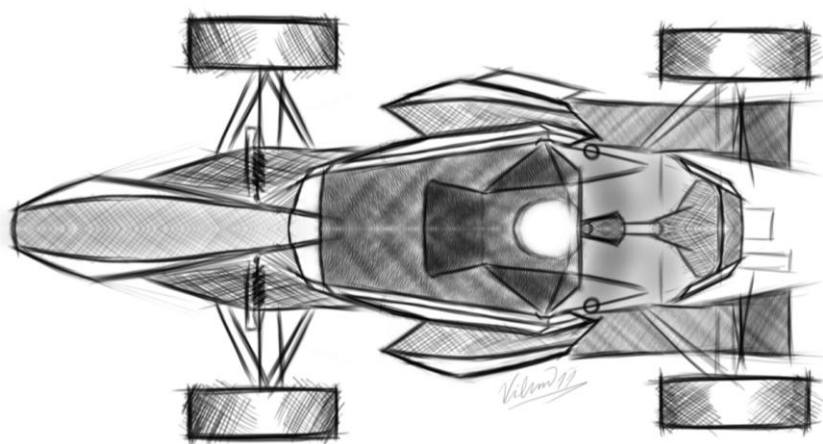
1. Návrh karoserie a difuzoru

1.1 Návrh karoserie

Při závodech studentských formulí nejde o maximální rychlost ale spíše o stabilitu a přilnavost vozu, jelikož trať je více technická s malými poloměry zatáček. Rychlost vozu na trati se pohybuje průměrně kolem 80 km/h. Proto nelze studentskou formuli přímo srovnávat s vozy kategorie Formule 1, kde chování vozu závisí převážně na velikosti přítlaku a tím i na podobě celkového tvarování trupu a dalších aerodynamických prvků (např. přítláčná křídla).

Karoserie studentské formule by neměla zvětšovat čelní průřez vozu, nesmí vyčnívat ostrými hranami a musí splňovat minimální předepsané poloměry na vzniklých hranách. Dále by měla být co nejvíce funkční, estetická a lehká. S pohledu aerodynamiky může karoserie

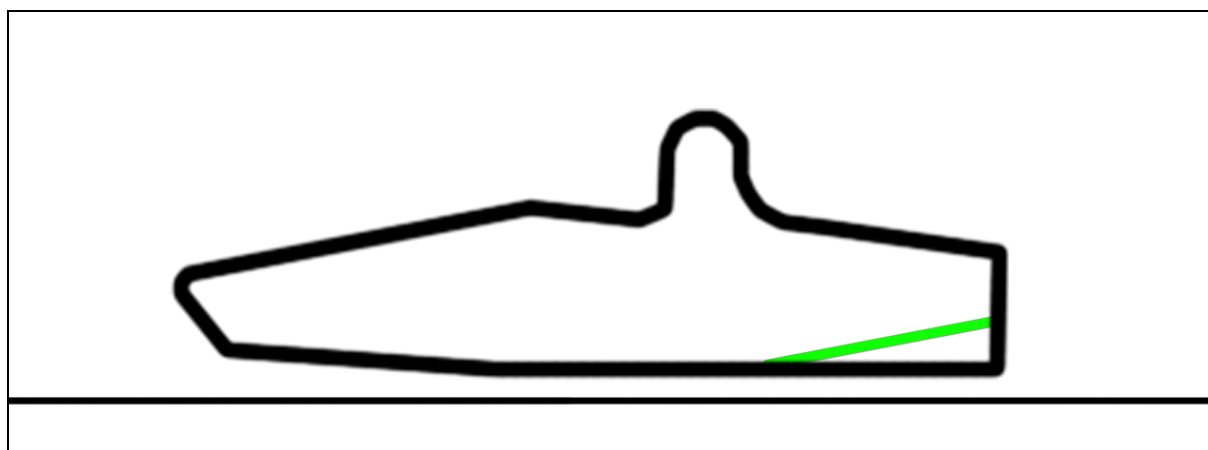
vedle minimálního čelního průřezu plnit také funkci například navádění vzduchu směrem k chladiči vhodným tvarováním tunelů. Vnější část podlahové plochy by měla být co nejvíce plynulá a přispívat co nejlépe k přísunu vzduchu do difuzoru, v případě že je instalován.



Obr. 1. Skica možné podoby karoserie vozu FS.03 s difuzorem

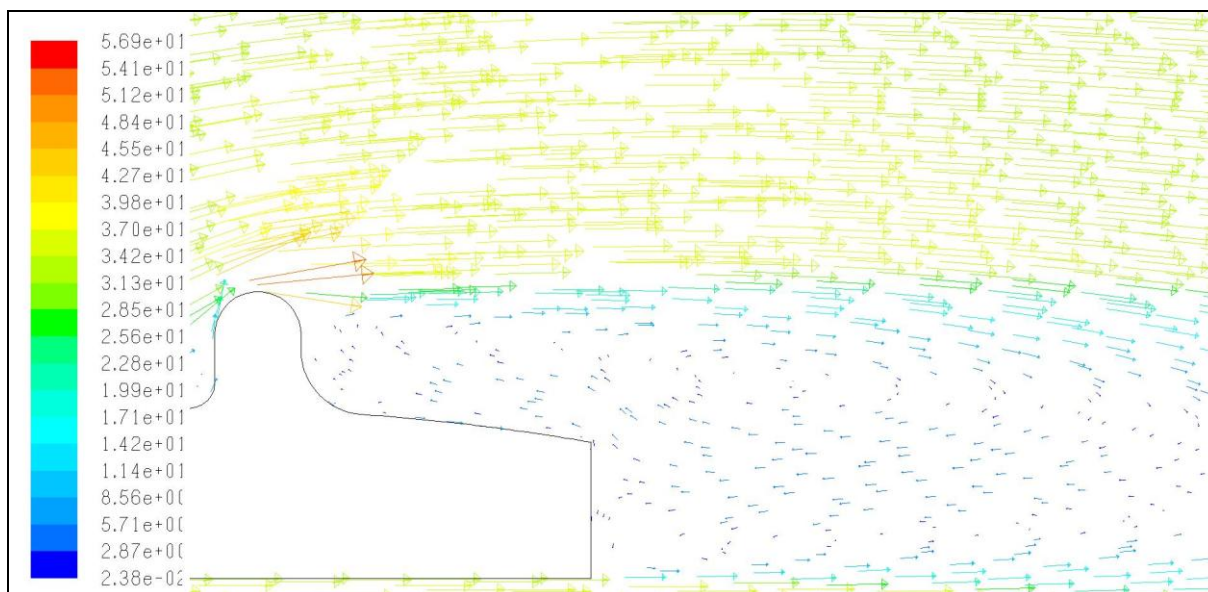
1.2 Návrh difuzoru

V rámci studie difuzoru byl proveden 2D numerický výpočet zjednodušeného modelu vozu (řez v rovině symetrie) ve dvou variantách pomocí softwaru Fluent. Pro výpočet byla použita nestlačitelná tekutina s modelem turbulence typu k- ϵ . Matematický model je založen na řešení středovaných Navierových-Stokesových rovnic s druhým řádem přesnosti (upwind 2. řádu). Na následujícím obrázku je znázorněn použitý profil pro výpočet. Zelená linka znázorňuje změnu modelu pro druhou variantu s použitím difuzoru.



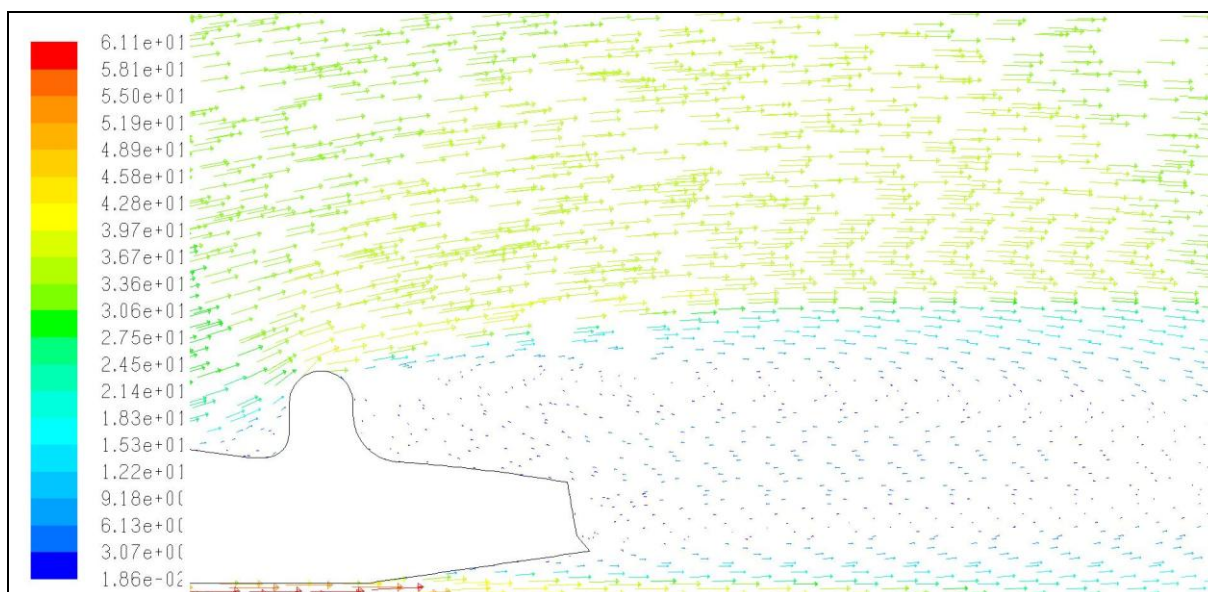
Obr. 2. Zjednodušený profil pro 2D výpočet

Okrajové podmínky výpočtu zahrnovaly pohyblivou vozovku a rychlost na vstupu do výpočtové oblasti 24 m/s. Grafický výstup z výsledků první varianty ukazuje na obr. 3 průběh proudového pole kolem profilu bez difuzoru.



Obr.3. Vektorové pole rychlosti kolem profilu bez difuzoru v zadní části vozu

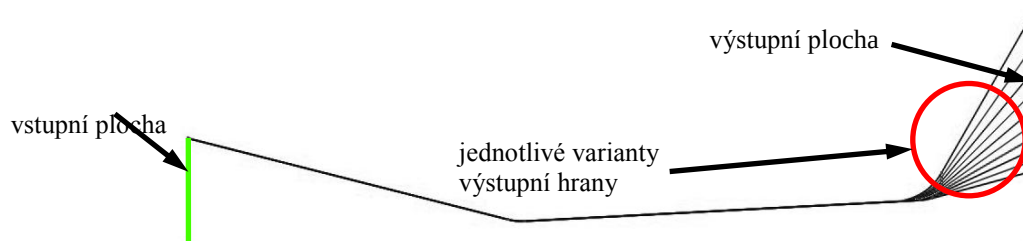
Grafický výstup z výsledků druhé varianty ukazuje na obr. 4. průběh proudového pole kolem profilu s difuzorem. Ve spodní části (v difuzoru) lze jednoznačně pozorovat navýšení rychlosti a tím snížení tlaku (červené pole vektorů). Tímto jevem byl dosažen tzn. Venturiho efekt – vůz je za pohybu přitlačován směrem k vozovce.



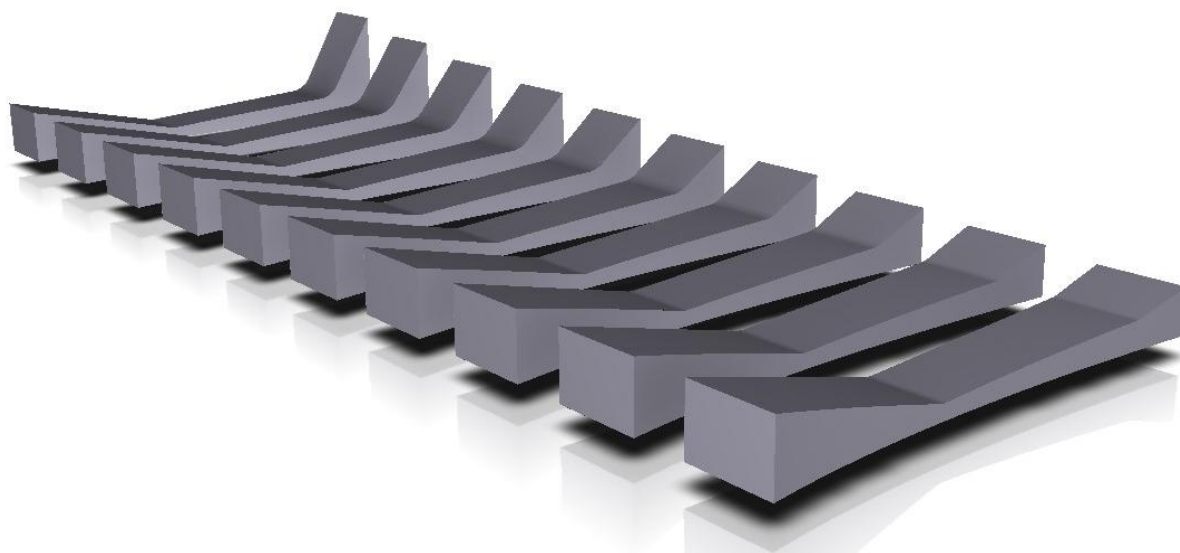
Obr.4. Vektorové pole rychlosti kolem profilu s difuzorem v zadní části vozu

Na základě konstrukčních možností a analýzy tvaru difuzoru bylo stanoveno 10 geometrických variant provedení difuzoru pro 3D numerický výpočet. Konstrukční možnosti dovozovali v rámci jednotlivých variant měnit pouze jeden parametr - úhel výstupní hrany. Pro veškeré 3D výpočty byla opět použita nestlačitelná tekutina s uvažováním turbulence na základě k-ε modelu s matematickým modelem založeným na řešení středovaných Navierových-Stokesových rovnic s druhým řádem přesnosti. Ze srovnání výsledků výpočtů všech variant byla vybrána nejvhodnější varianta pro 3D numerický výpočet obtékání celého

profilu formule. Jednotlivé varianty se liší změnou úhlu výstupní hrany po 5° od 70° u první varianty do 15° u desáté varianty. Podoba výpočtových modelů je na obr.5 a obr.6.

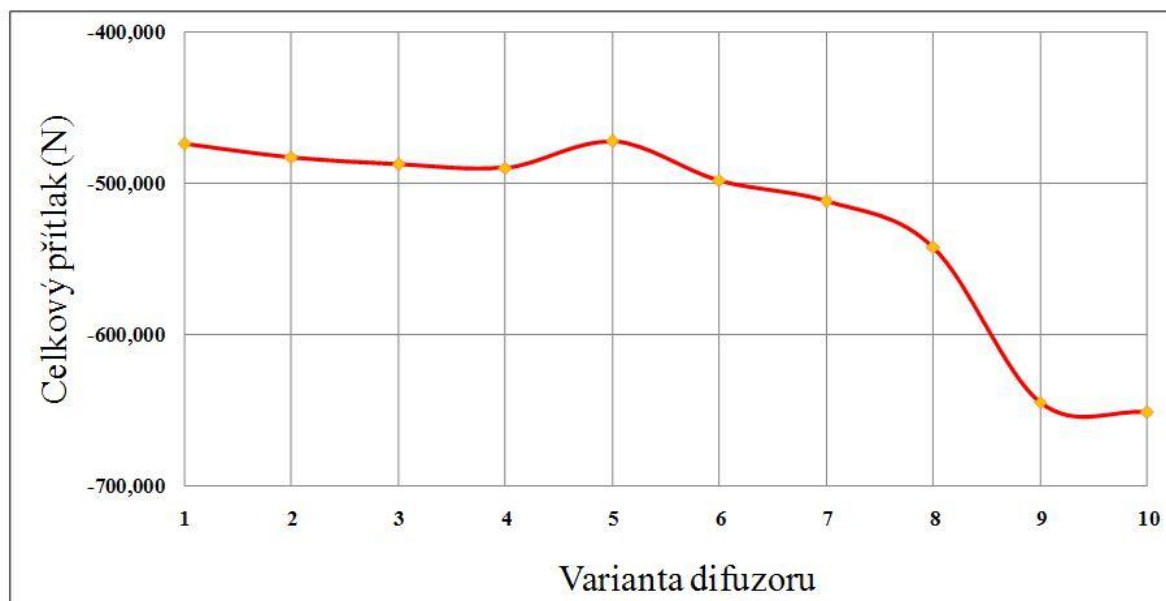


Obr. 5. Znáznornění vstupu a výstupu difuzoru na jednotlivých variantách



Obr. 6. Znáznornění jednotlivých výpočtových variant difuzorů v prostoru

Po splnění kritérií nutných pro stabilní průběh výpočtu, jako je volba vhodné geometrie a následné síťování geometrie, byly provedeny numerické výpočty pro všech 10 geometrických variant difuzoru. Na obr.7 je graf, který ukazuje výsledky z provedených výpočtů 10 variant. Zde lze jednoznačně pozorovat závislost narůstající přítláčné síly se snižujícím se úhlem na výstupu difuzoru.

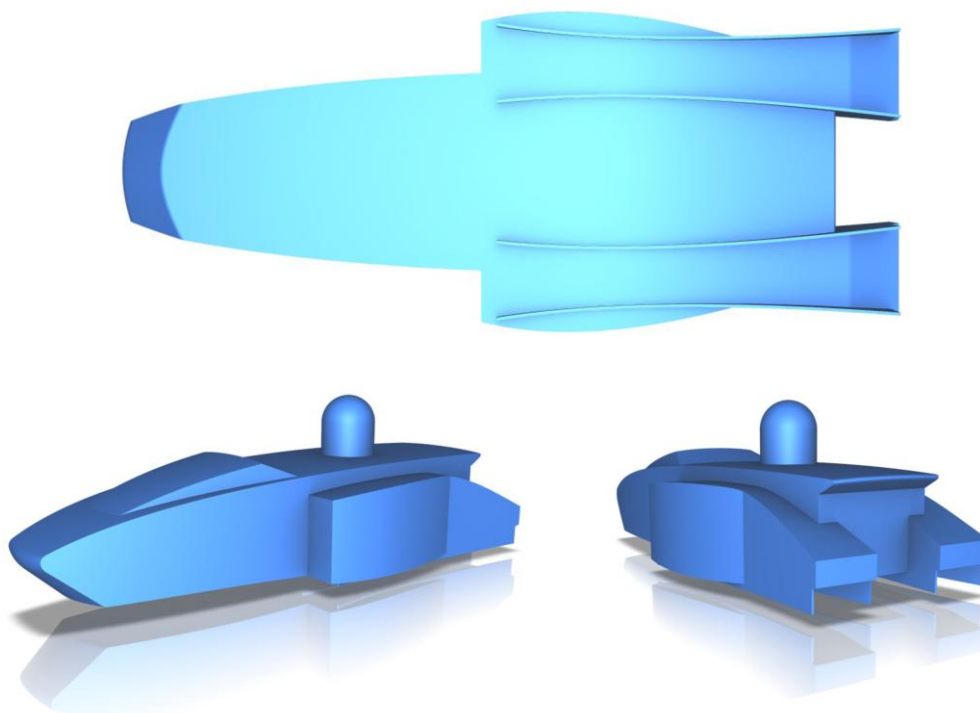


Obr. 7. Graf - závislost celkového přítlaku na jednotlivých variantách difuzoru

Na základě výsledků byla vybrána varianta č. 10, která generuje největší přítlak. Tato geometrická varianta byla použita pro následný 3D numerický výpočet obtékání celého modelu formule.

2. 3D CFD výpočet obtékání modelu formule

Pro výpočet v prostoru byl vytvořen zjednodušený plošný model ve 3D CAD modeláři. Ukázka několika pohledů na model s difuzorem je na obr.8.



Obr. 8. Zjednodušený 3D model formule s difuzorem pro výpočet

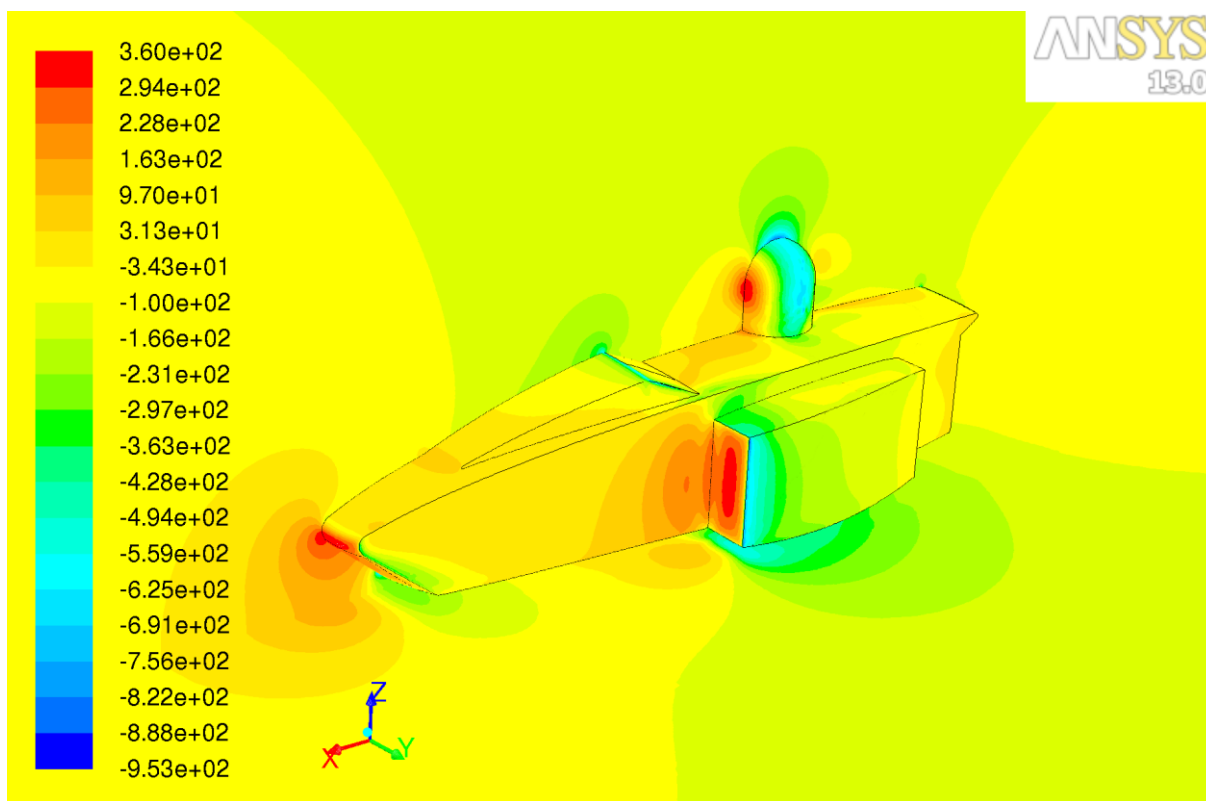
Do výpočtu byla použita pouze polovina modelu z důvodů symetrie a nebyla záměrně zařazena geometrie kol vozu, jelikož to pro cíl výpočtu nebylo žádoucí. V okrajových podmínkách byla opět zahrnuta pohyblivá vozovka a rychlost 24 m/s na vstupu do výpočtové oblasti. Numerický výpočet byl počítán ve dvou geometrických variantách z důvodů následného vyhodnocení silového účinku difuzoru na obtékaný model formule:

- Varianta I - model bez difuzoru
- Varianta II - model s difuzorem

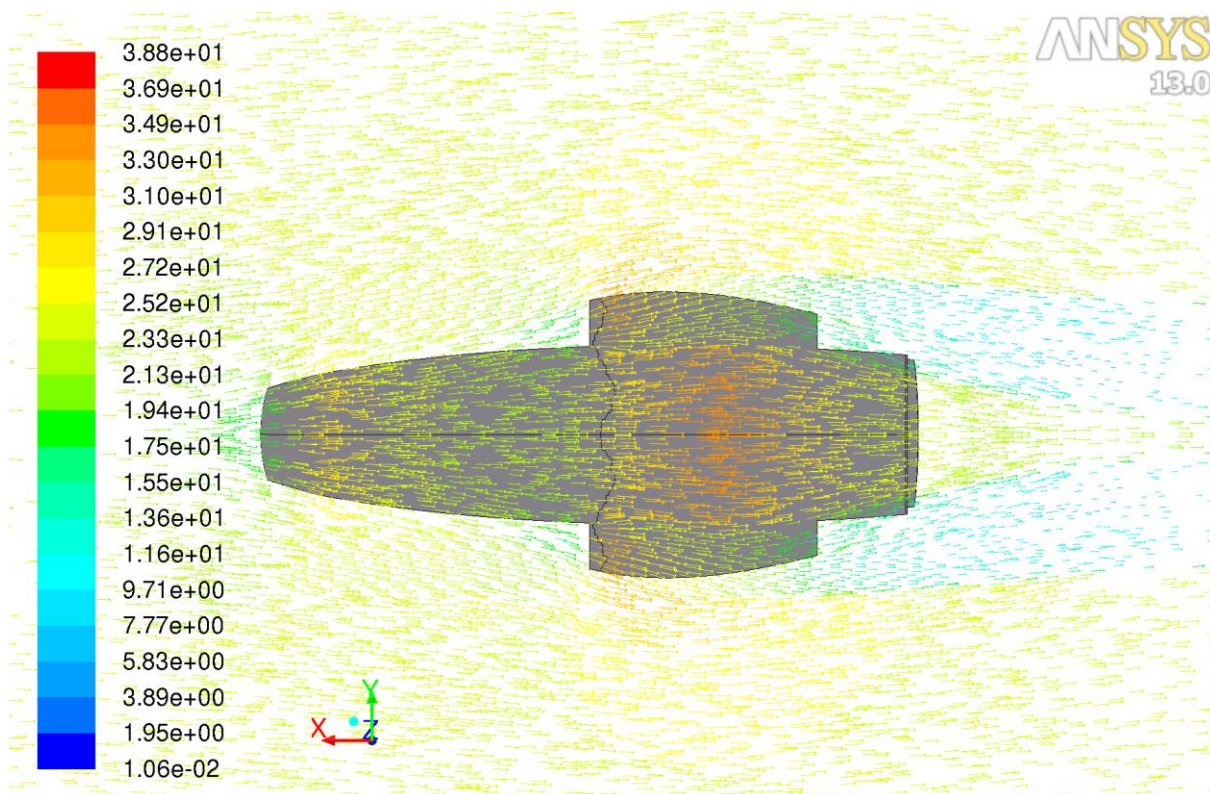
2.1 Varianta I – model bez difuzoru

V první variantě bylo úkolem simulovat chování vozu bez difuzoru a vyhodnotit silové účinky na celý model.

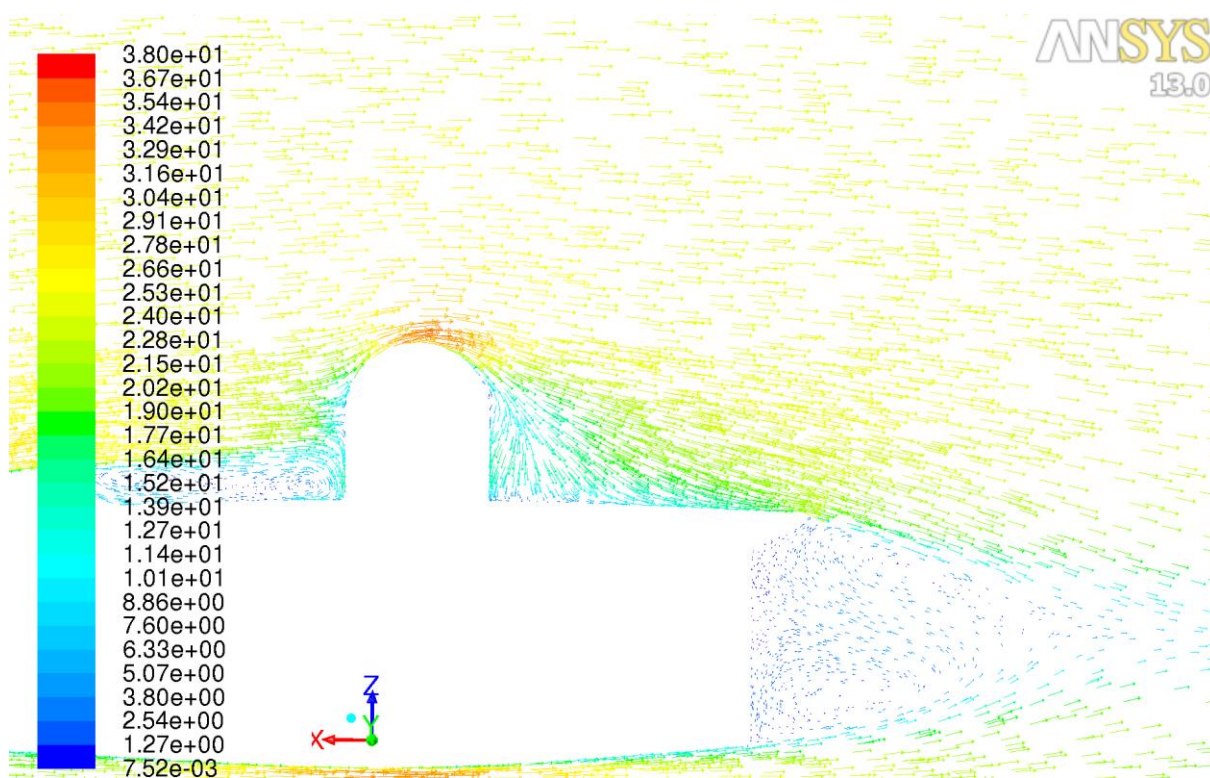
Výsledná přítláčná síla vyšla $F_{pI} = 3,1$ N. Výsledek ukazuje chování aktuálního vozu studentské formule (tzn. bez difuzoru) a zdůvodňuje zvýšení potřeby přítlaku na zadní nápravu, která vzešla především ze způsobu chování vozu při závodě. Aplikace difuzoru, jež může přítláčnou sílu zvýšit vedle dalších technických vylepšení, se proto jen nabízí. Odporová síla v případě první varianty vycházela $F_{oI} = 33$ N, koeficient aerodynamického odporu $C_{xI} = 0,23$. Grafické výstupy z výpočtu první varianty je možno vidět na obr. 9, obr.10 a obr.11.



Obr. 9. Rozložení tlaku na vozu u varianty I



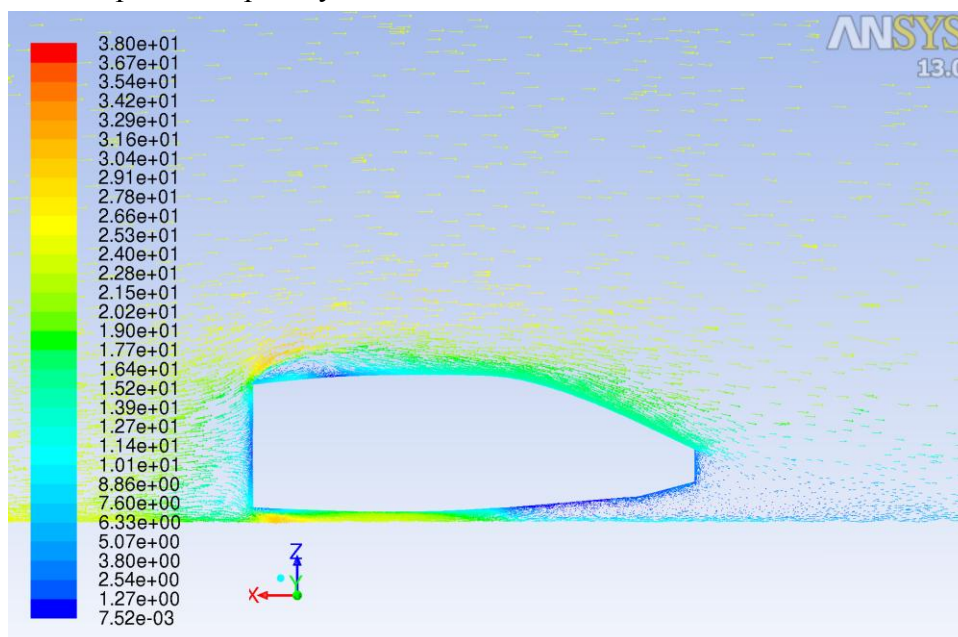
Obr. 10. Znáznornění vektorů rychlosti pod vozem u varianty I



Obr. 11. Znáznornění odtržení za vozem u varianty I

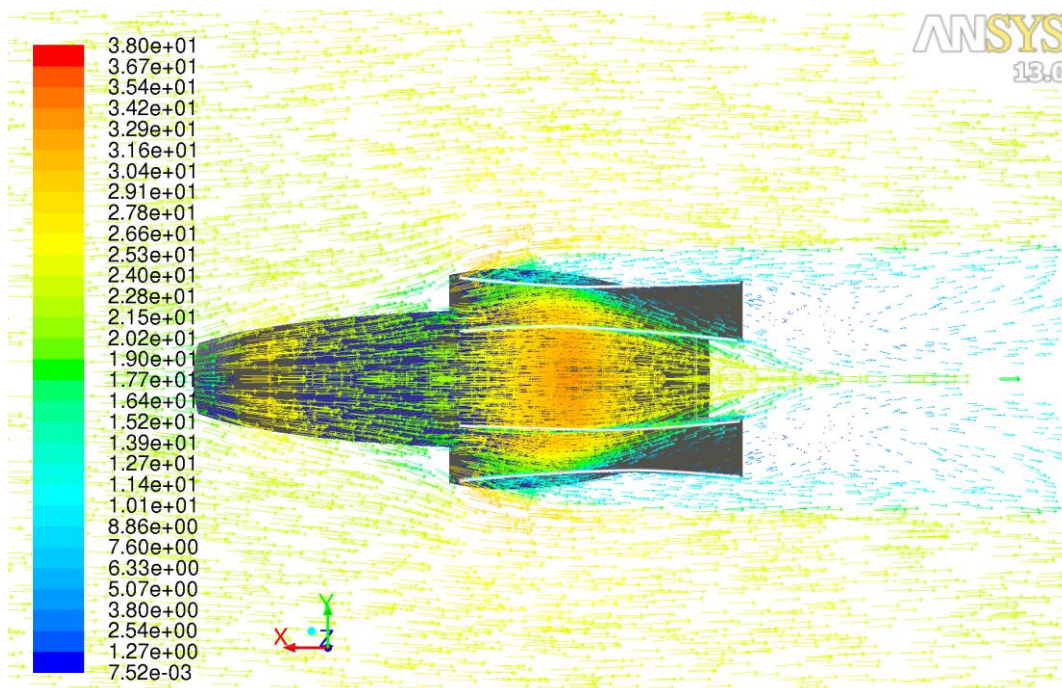
2.2 Varianta II – model s difuzorem

Druhá varianta ukazuje chování vozu s difuzorem. Z výsledků vyplývá, že rychlost pod vozem a v difuzoru je navýšena oproti variantě I, tzn. dochází zde k přitlaku. Na obr.12 je možno pozorovat proudové pole rychlosti v řezu difuzorem.

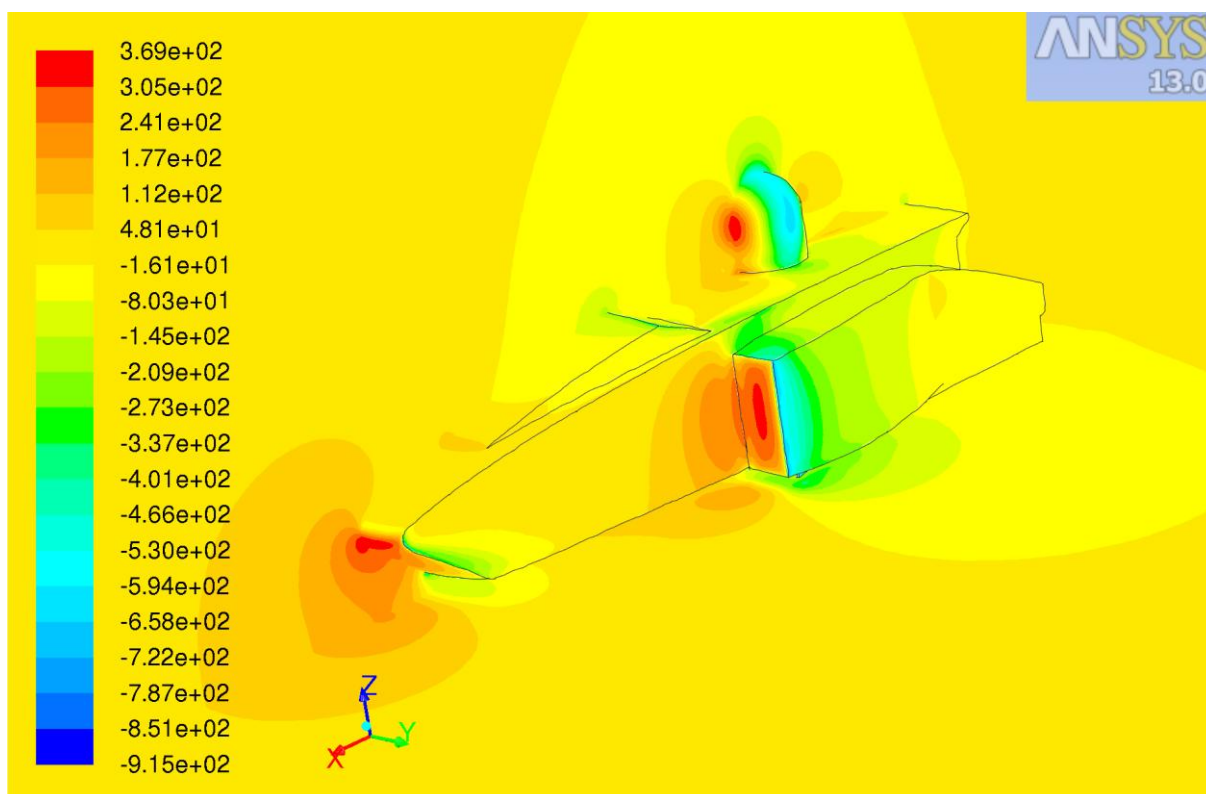


Obr. 12. Vektory rychlosti – řez difuzorem rovnoběžný s rovinou symetrie

Efekt „nasávání“ a přelévání okolního proudu vzduchu do difuzoru a následně tvorba úplavu je možné vidět na obr. 13.



Obr. 13. Znáznornění vektorů rychlosti pod vozem a v difuzoru u varianty II



Obr. 14. Rozložení tlaku na vozu u varianty II

Výsledná přítláčná síla u varianty s difuzorem vyšla $F_{pII} = 88,1$ N. Odporová síla v případě druhé varianty vycházela $F_{oII} = 37$ N a koeficient aerodynamického odporu $C_{xII} = 0,26$.

4. Závěr

V případě vzájemného srovnání 2D a 3D výpočtů nelze tyto řešení srovnávat číselně, nýbrž jen kvalitativně. K této nesrovnalosti přispívá nemožnost 2D řešení popsat výskyt prostorových vývrtých struktur v úplavu, což 3D řešení umožňuje. Tyto skutečnosti lze porovnat na příslušných přiložených grafických výstupech popisujících proudové pole v rovině symetrie. Úkolem 2D výpočtů bylo zjištění prvotní informace o smysluplnosti použití difuzoru na studentské formuli.

Při výběru vhodné varianty difuzoru, byla řešena a počítána pouze prostorová oblast uvnitř difuzoru. Toto řešení nelze přímo srovnávat s prostorovým řešením obtékání celého modelu formule. Úkolem bylo vybrat vhodnou variantu generující největší přítlak pro použití a výpočet na celém modelu formule s respektováním konstrukčních možností.

Z výsledků jednoznačně vyplývá přínos difuzoru na přítlak vozu, který generuje 88,1 N. Při srovnávání koeficientu aerodynamického odporu $C_{xI} = 0,23$ pro první variantu a $C_{xII} = 0,26$ pro variantu druhou vyplývá nevýhoda difuzoru, který na úkor generovaného přítlaku a dalších vznikajících vlivů v úplavu zvyšuje odporovou sílu. Pro přesnější určení přítláčné a odporové síly a tím i dalších vlivů se nabízí možnost dalšího zpřesnění výpočtu jako je podrobnější geometrie, výpočtová síť a dále realizace a měření na fyzickém modelu.

Seznam symbolů

F_p	přítlačná síla	[N]
F_o	odporová síla	[N]
C_x	koeficient aerodynamického odporu	[1]

Seznam použité literatury

- [1] NOŽIČKA, Jíří. *Mechanika tekutin*. Praha : Vydavatelství ČVUT v Praze, 2004. 165 s.
- [2] KATZ, Joseph. *Aerodynamics of Race Cars* [online]. [s.l.] : UNIVERSITY OF SOUTH AUSTRALIA, 2006 [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: <arjournals.annualreviews.org>.
- [3] ŽÁK, Jaromír. *CFD problematika výpočtu externí aerodynamiky*. Praha, 2009. 65 s. Diplomová práce. ČVUT V Praze.
- [4] VILÍM, Marek. *Numerické řešení proudění v sacím kanále APU jednotky*. Praha, 2009. 68 s. Bakalářská práce. ČVUT V Praze.
- [5] Internetová dokumentace k programu Fluent
- [6] Internetová dokumentace k programu Gambit