



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů
a kolejových vozidel

Palivová soustava pro vůz Formula Student

Fuel system for Formula Student car

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
2020

Matyáš Kajsrlík

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing Jiří Pakosta, Ph.D



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kajsrlik** Jméno: **Matyáš** Osobní číslo: **465332**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Palivová soustava pro vůz Formula Student

Název bakalářské práce anglicky:

Fuel system for Formula Student

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte palivovou soustavu pro závodní vůz kategorie Formula student tak, aby splňovala specifika bezpečnostních pravidel soutěže a současně vyhovovala náročnému provozu během závodů. Palivová soustava bude tvořena palivovou nádrží, palivovým vedením, regulátorem tlaku paliva, palivovým čerpadlem, palivovým filtrem a vstříkovacími jednotkami. Vytvořte 3D model palivové soustavy s ohledem na zástavbové možnosti vozu formule. Stanovte přibližnou hmotnost palivové soustavy, která by neměla být u závodních vozů příliš vysoká.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jiří Pakosta, Ph.D., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce:

Ing. Jiří Pakosta, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta



Anotační záznam

Jméno autora: Matyáš Kajsrlík

Název práce: Palivová soustava pro vůz Formula Student

Anglický název: Fuel systém for Formula Student car

Rozsah práce:

38 stran

31 obrázků

6 stran příloh ve formátu PDF

Akademický rok: 2019/2020

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: (B2342) Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: Ing Jiří Pakosta, Ph.D

Klíčová slova: Formula Student, Palivový systém, Palivová nádrž, Návrh palivového systému, Zástavba palivového systému.

Key words: Formula Student, Fuel system, Fuel tank, Design fuel system, Installation of fuel system.



Abstrakt

Tématem této práce je navrhnout palivový systém pro vůz Formula Student speciálně do monopostu týmu CTU Cartech tak, aby vyhovovala všem pravidlům této soutěže. Návrh palivového systému musí vydržet tvrdé podmínky a musí být navrhnout tak, aby byla možná výroba v studentských podmínkách. V práci jsou zahrnuta i vysvětlena rozhodnutí, jichž bylo potřeba k dosažení co nejmenší hmotnosti, nejnižšího těžiště a nejlepší spolehlivosti systému. Taktéž tato práce obsahuje rešerši komponent palivových systémů používaných v automobilovém průmyslu či motorsportu.

Abstract

The topic of this work is to design a fuel system for the Formula Student car especially for the monopost of the CTU Cartech team so that it suits in rules of this competition. The design of the fuel system allows it to withstand harsh conditions and can be designed to allow production in student conditions. The work also includes an explanation of the decision to demand the lowest weight, lowest center of gravity and the best reliability of the system. Also, this work contains search on fuel systems used in the automotive industry or motorsport.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: “Palivová soustava pro vůz Formula Student” vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne: 14.7.2020

.....

(podpis autora)



Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Jiřímu Pakostovi, Ph.D. za vedení práce a velmi zdvořilému přístupu se spoustou cenných rad a odpovědí na mé připomínky.

Taktéž bych chtěl poděkovat mé rodině za možnost studia a podporu.

V poslední řadě chci poděkovat všem členům CTU Cartech, bývalým či současným, za cenné rady a poznání, které se mnou sdílejí.



Obsah

1. Úvod	8
2. Formula Student SAE.....	9
2.1 CTU Cartech	10
3. Zásobení Agregátu palivem.....	11
3.1 Palivová nádrž.....	11
3.2 Palivová nádrž dle pravidel Formula Student FSAE	12
3.3 Palivové vedení.....	13
3.3.1 Palivové čerpadlo	13
3.3.2 Palivový filtr	14
3.3.3 Regulátor tlaku paliva	15
3.3.4 Palivové vedení dle pravidel Formula Student FSAE	16
3.3.5 Plnicí trubice nádrže dle pravidel Formula Student SAE	16
4. Tvorba Palivové směsi.....	17
4.1 Vstřikování.....	17
4.1.1 Nepřímé vstřikování	17
4.1.2 Přímé vstřikování.....	18
4.1.3 Vstřikovací ventil	18
4.2 Karburátor	19
5. Návrh palivového systému pro FS.12.....	21
5.1 Zástavbová struktura	21
5.2 Pozice nádrže.....	22
5.3 Materiál nádrže	22
5.4 Tvar nádrže	23
5.5 Hrdlo nádrže	25
5.6 Palivová pumpa a její příruba	27
5.7 Vstřikovací systém	27
5.8 Palivové vedení s fitinkami	28
5.9 Úchyty.....	29
5.9.1 Uchycení nádrže k monokoku	29
5.9.2 Uchycení hrdla nádrže k nádrži a rámu	31
5.9.3 Uchycení palivového filtru a palivové pumpy	31



6.	Model navrhnuté palivové soustavy v programu CATIA V6	33
7.	Závěr.....	34
8.	Použitá literatura.....	35
9.	Seznam obrázků	36
11.	Seznam příloh	37



1. Úvod

Bakalářská práce se jménem „Palivová soustava pro vůz Formula Student“ se zabývá problematikou palivového systému pro monopost týmu CTU Cartech, který je účastníkem celosvětové studentské soutěže Formula Student. Úkolem této Bakalářské práce je navrhnout palivový systém pro monopost tak, aby splňoval všechna bezpečnostní pravidla této soutěže, přičemž aby vyhovoval náročnému provozu monopostu během závodů. Monopost týmu CTU Cartech disponuje zážehovým spalovacím motorem. Každý zážehový spalovací motor potřebuje palivový zdroj, jenž je schopen dodávat potřebné množství paliva při jízdě za každých okolností. Palivový systém by měl disponovat palivovou nádrží s dostatečným objemem pro palivo po celou dobu závodu. Samozřejmě k palivové nádrži neodmyslitelně patří palivové vedení s palivovým čerpadlem. Aby bylo palivo konzistentně dopravováno do válce, jsou zapotřebí palivové vstřikovače. Pro správné dávky paliva dopraveného vstřikovačem do válce poslouží regulátor tlaku paliva s konstantním tlakem. Aby celá soustava byla bez závad po celou dobu užívání, je potřeba také palivový filtr, který zabrání znečištění celé soustavy. To vše musí být součástí co nejlehčího monopostu pro co největší výkon při zvládnutí náročných disciplín. K tomu, aby byl palivový systém řádně zkomponován do monopostu, poslouží 3D model, na němž si například můžeme ověřit, zdali nebude tento palivový systém moc ovlivňovat aerodynamiku či těžiště vozu.



2. Formula Student SAE

Formula Student (též Formula SAE) je konstrukční soutěž pro studenty inženýrských škol. Vznikla v USA v roce 1981. Od roku 1998 existuje její evropská odnož, Formula Student. Obě soutěže mají stejný cíl a prakticky stejná pravidla. Každý rok se v rámci Formula Student/SAE pořádá 12 jednotlivých soutěží po celém světě. V současné době v seriálu Formula Student/SAE soutěží více než 500 univerzitních týmů z celého světa.

Formula Student/SAE je konstrukční úkol, který by mohla položit jakákoliv automobilová výrobní firma. Zadáno je fiktivní výběrové řízení na vývoj vozu formulového typu (obr.1). Zákazník, pro něhož je vůz určen, je víkendový neprofesionální závodník holdující autokrosu nebo sprintu. Vůz proto musí disponovat velkým výkonem ve smyslu co nejlepší akcelerace, brzdění a ovladatelnosti. Musí být levný, spolehlivý, údržba musí být snadná a měl by být konkurenceschopný. Vůz by tedy měl být také esteticky na úrovni, pohodlný a využívat co nejvíce běžně dostupných součástí. Produkční plán je 1000 vozů za rok. Týmy pak mají za úkol vyvinutý vůz demonstrovat jedním prototypem.

Úkol zní: Navrhnout vůz, který co nejlépe splňuje uvedené požadavky. Na konci bude vůz porovnán s návrhy konkurence. A pouze nejlepší návrh se dočká "výroby".[1]



Obr. 1 Monopost FS.11



2.1 CTU Cartech

Tým CTU Cartech (Obr.2) se aktivně a účastní soutěže Formula Student SAE. V týmu působí 50 studentů nejčastěji z Fakulty strojní Českého vysokého učení technického v Praze. Studenti se aktivně podílí na návrhu i konstrukci monopostu, kde sbírají cenné zkušenosti do budoucí kariéry. S podporou a konzultacemi od pracovníků ústavu, studentů doktorského studia či externích firem získávají vědomosti, které využijí v profesním životě. Tým byl založen v roce 2009. V ten samý rok byl také zhotoven první vůz a to FS.01. Od tohoto okamžiku se v dílně CTU Cartech každým rokem zhotoví vozidlo, s nímž tým vyráží na závody. [1],



Obr.2 Tým CTU Cartech po výhře na závodě FSCZ [13]



3. Zásobení Agregátu palivem

3.1 Palivová nádrž

K tomu, aby mohl být motor stále v chodu, musí mít stále přístup k dostatečnému zdroji paliva. U zážehových motorů je tento zdroj palivová nádrž. Nádrž musí být pevně ohraničený prostor a nesmí být za žádných okolností propustná do okolí. Nádrže se vyrábějí z různých materiálů. Dříve se vyráběly z plechu. Dnes se v automobilovém průmyslu upřednostňuje nádrž plastová (Obr.4) právě kvůli odolnosti vůči vnějším vlivům a chemické stálosti. V motorsportu se nejčastěji používá na výrobu palivové nádrže hliník (Obr.3). Slitiny hliníku umožňují větší odolnost, a to je v motorsportu potřeba, poněvadž tam hrozí větší riziko nehody. Existují také nádrže, které jsou tvarovány do takzvaných palivových vaků či pytlů. Ty se zejména vyznačují tím, že mají elastický povrch nádrže a mohou se přizpůsobit povrchu. Tyto palivové pytle se používají například ve Formuli 1, kde je kladen obrovský nárok na hmotnost. V leteckém průmyslu můžeme narazit také na nádrže z titanu či z kompozitních materiálů. Výhody jsou značné. Velká chemická stálost a také pevnost a odolnost vůči okolním vlivům, avšak jsou využívány jen zřídka, hlavně kvůli jejich vysoké ceně.

Další nezbytně důležitou součástí nádrže je odvětrávání. V dnešním automobilovém průmyslu se používá na odvětrávání nádrže aktivní uhlí. Odvětrávací šachta, která jde ven z vozu, prochází přes nádobku aktivního uhlí, čímž aktivní uhlí zachycuje páry paliva a do ovzduší tak uniká méně palivových par. Odvětrávání nádrže je taktéž napojeno na sání motoru, přičemž je zde umístěna klapka, která se po zahřátí motoru otevírá a páry z nádrže jsou tak recyklovány a spáleny vně motoru a použity pro pohon vozu. V motorsportu nejsou emise vozu na prvním místě, proto se zde na odvětrávání nádrže používá pouze jednostranný ventil. Pokud je v nádrži podtlak, ventil se otevře a zabrání tak destrukci nádrže. Tato destrukce by mohla být vyvolána rozdílem vnitřního a venkovního tlaku po odsátí paliva. [2],[4],[10]



Obr.3 Hliníková palivová nádrž [7]



Obr.4 Sportovní palivová nádrž ATL [7]

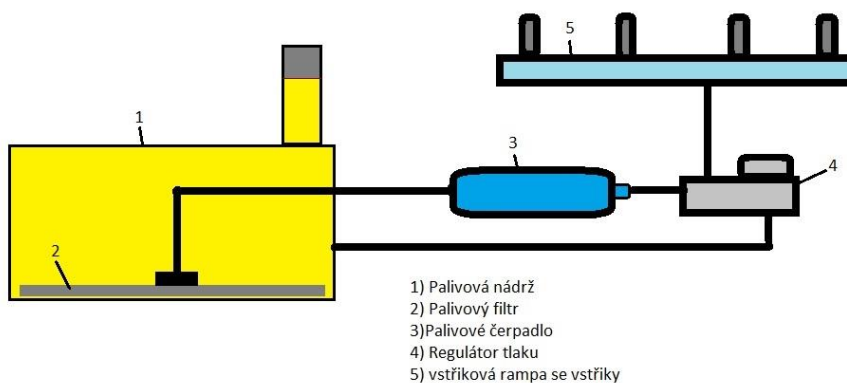
3.2 Palivová nádrž dle pravidel Formula Student FSAE

Palivová nádrž je část vozu, která je brána jako zařízení pro zábranu paliva. Může být vyrobena z pružného i tuhého materiálu. Palivová nádrž musí být bezpečně přichycena ke konstrukci vozidla tak, aby byla pružnými úchyty izolována k ohybu podvozku a vibracím při zátěži vozu, přičemž aby nijak nezatížila palivovou nádrž. Nádrž se také nesmí dotýkat žádné jiné součásti vozu, kromě jejího uchycení a součástí, které patří k palivové soustavě. Nádrž, která je vyrobena z pružného materiálu, například palivového vaku, musí být vložena a uzavřena do ohraničeného prostoru z pevného materiálu. Tento prostor z pevného materiálu musí být připevněn na konstrukci vozu. Palivová nádrž musí mít, v případě potřeby, zařízení pro vyprázdnění nádrže. Palivová nádrž nesmí být navrhována tak, aby měla proměnný objem. Odvětrávání této nádrže aneb ventilační systém nádrže, musí obsahovat zpětný ventil. Ten při převrácení nádrže zabrání úniku paliva. Ventilační systém musí být konstruován tak, aby se při tvrdém zatáčení a akceleraci vozu palivo nemohlo rozlít mimo nádrž. Ventilační systém nádrže musí končit mimo karoserii vozu. [12]



3.3 Palivové vedení

Palivové vedení je součástí palivové soustavy (Obr.5), kde dochází k dopravě požadovaného množství paliva k zařízení, které vytvoří palivovou směs (vstříkací karburátor). Palivové vedení by mělo být schopno dopravovat takové množství paliva, aby i při největší spotřebě agregátu bylo schopno ho zásobovat bez sebemenší ztráty výkonu. Palivové vedení je tvořeno především z hadic či trubek, které musí být bezpečně uloženy či bezpečně chráněny před vnějším poškozením. Dále do palivového vedení zařazujeme i palivové čerpadlo, jenž by mělo být schopno udržet konstantní tlak paliva i při velké zátěži motoru. Nezbytnou součástí je také regulátor tlaku paliva, který se používá u vstříkacích systémů. Ten reguluje vysoký tlak z čerpadla na tlak potřebný pro vstříkací soustavu. Další potřebnou součástí pro dlouhodobý chod celé soustavy i agregátu je palivový filtr. [2],[11]



Obr.5 schéma palivové soustavy

3.3.1 Palivové čerpadlo

Palivová čerpadla dělíme na dva druhy. První druh je mechanické čerpadlo (Obr.8). Toto čerpadlo je mechanicky připojeno na motor vozu a je často kombinováno s čerpadlem elektrickým. Většinou se nachází v motorovém prostoru a je napojeno před vstříkací rampou. Elektrické čerpadlo v tomto případě pouze podává palivo vysokotlakému mechanickému čerpadlu, které značně zvýší tlak paliva (až 1700 bar) a umožňuje, pomocí vstříku, lépe rozprášit palivo do vzduchu a vzniká tak kvalitnější palivová směs. Dalším druhem čerpadla je čerpadlo elektrické (Obr.6). Toto čerpadlo je napojeno na baterii vozu a nachází se většinou v nádrži automobilu. Bývá často napojeno na plovákovou soustavu, jež pomocí plováku a odporové stupnice měří hladinu paliva v nádrži a ukazuje ji na



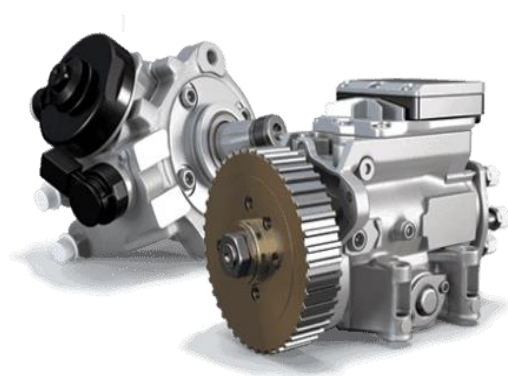
přístrojové desce vozu. V motorsportu je elektrické čerpadlo většinou mimo nádrž. Výhodou čerpadla mimo nádrž je mnohem lepší přístup k údržbě. Čerpadlo je pak lehce přístupné a lehce vyměnitelné. Další důvod je, že v motorsportu se často využívá spojení více čerpadel a toto by bylo v nádrži složité řešení. Nejčastější typ elektrického čerpadla v automobilech je čerpadlo s výstředníkovým mechanismem (Obr.7). Tento mechanismus funguje na principu excentrických rotorů, kde vnitřní poháněný rotor má o jeden zub méně. [3],[6],[11]



Obr.6 Elektrické čerpadlo BOSH z vozu BMW e36 325i



Obr.7 Výstředníkový mechanismus čerpadla



Obr.8 Mechanické čerpadlo BOSH a ZEXEL [6]

3.3.2 Palivový filtr

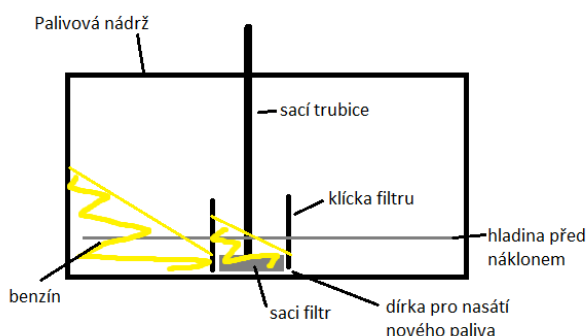
Palivové filtry jsou velmi důležitou součástí palivového systému, prodlužují životnost vozu a zabraňují zanesení soustavy. Palivové filtry mohou být na nasávací trubici systému. Dávají se tam většinou hrubozrnné, které zachycují velké nečistoty. Ty by mohly poškodit čerpadlo nebo rychleji zanést druhý jemný palivový filtr (Obr.9). Ten bývá většinou za elektrickým čerpadlem a slouží k zachycení i velmi malých nečistot. Tyto částice by mohly zanést vstřiky či po spálení i agregát. V motorsportu existují palivové filtry, jenž pokrývají celé dno palivové nádrže a jsou schopny nasávat palivo jakoukoliv částí filtru. To je velmi



přínosné při velkých odstředivých silách v zatáčce. Palivo v nádrži se přesune na stranu a tento palivový filtr spolu s čerpadlem je stále schopen čerpat palivo bez ztrát tlaku. V jiných případech se tyto případy náklonu paliva v zatáčkách řeší tak, že se nádrž vyplní pěnou, ta zpomaluje přesun paliva v nádrži a palivo je opět nasáváno bez ztráty tlaku v soustavě. V civilním automobilovém průmyslu je tento problém řešen klíčkou (Obr.10) pro nasávací filtr, kde hladina v klíčce je i po náklonu paliva stále vysoko. [7][11]



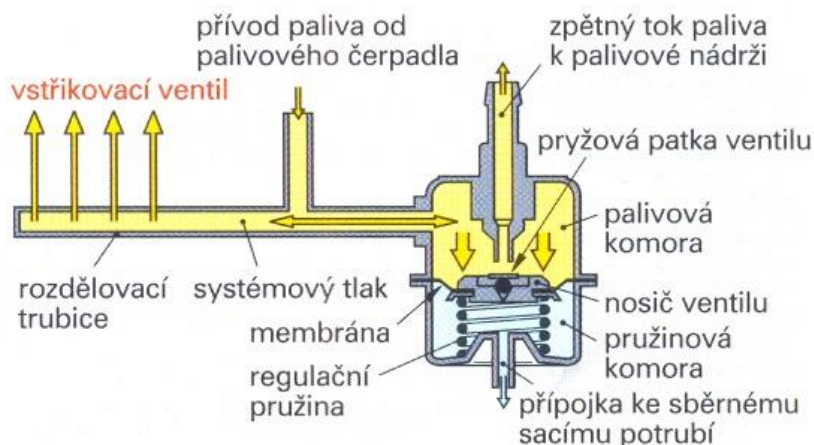
Obr.9 Palivový filtr BOSCH [7]



Obr.10 zjednodušené schéma klíčky v nádrži

3.3.3 Regulátor tlaku paliva

Regulátor tlaku paliva (Obr.11) slouží k udržení konstantního tlaku po celou dobu chodu motoru v palivové soustavě. Jeho princip je velmi jednoduchý. Hlavní část je palivová komora, do které čerpadlo pumpuje pod tlakem palivo. Druhá část regulátoru je pružinová komora, kde se nachází pružina regulátoru. Tyto dvě části jsou rozděleny membránou, ta tlačí na trubičku, která vede zpět do nádrže. Princip spočívá v tom, že pokud je v palivové komoře větší tlak, než je potřeba, tlak paliva zatlačí na pružinu, ta pootevře membránu a přebytečné palivo jde trubicí pro zpětný tok zpět do nádrže. Toto se děje, dokud se síly na obou stranách nevyrovnejí a není tlak v palivové komoře konstantní. [3],[8]



Obr.11 regulátor tlaku paliva v řezu [8]

3.3.4 Palivové vedení dle pravidel Formula Student FSAE

Palivové vedení mezi nádrží, palivovou rampou a zpětným okruhem, musí obsahovat hadice z vyztuženého materiálu proti oděru a musí být připojeno na fitinky pomocí svorky. Tyto svorky obepínají hadici 360° obalem. Utahují se šroubovým spojem s maticí, mají rolované hrany, aby nebylo možné hadici poškodit. Palivové vedení může být taktéž vyrobeno z pokovované hadice se závitovými spojkami. Palivové vedení musí být řádně připevněno k vozu či motoru. Všechny součásti palivového vedení musí být chráněny před možnou kolizí s porouchaným rotujícím předmětem.[12]

3.3.5 Plnicí trubice nádrže dle pravidel Formula Student SAE

Plnicí hrdlo nádrže musí mít průměr minimálně 35 mm v celé délce hrdla od víčka po nádrž. Hrdlo palivové nádrže nesmí být nakloněno více než 30° od svislé osy. Hrdlo musí být vybaveno průhlednou trubicí, která se nachází v horní části pod víčkem a musí být dlouhá 125 mm. Tato průhledná trubice bude použita na kontrolu hladiny paliva. Hrdlo s touto trubicí musí být odolné benzínu a nejméně 120°C. Hrdlo nádrže může být samo o sobě použito i jako transparentní trubice. Pro pravidla plnění nádrže palivem platí, že hladina by měla být dobře viditelná a od 12 po 25 mm od horního okraje hrdla. Toto potrubí musí odolat zkoušce náklonu vozu a bude použito pro měření spotřeby paliva během vytrvalostního závodu. Otevření plnicího hrdla by mělo být přístupné bez odstranění jakýchkoliv částí vozu, krom víčka nádrže. Hrdlo má být vybaveno takovým víčkem, které odolá vibracím i nárazům, k nimž může dojít při převrácení vozidla. [12]



4. Tvorba Palivové směsi.

„Zásoba paliva, potřebná k pohonu motoru, je uložena v nádržce na palivo. Palivo v tekutém stavu nemůže být použito k pohonu motoru přímo, nýbrž musí být vně motoru smíšeno se vzduchem na palivovou směs a ve vzduchu, který mu dodává potřebný kyslík k hoření, jemně rozptýleno. Smíšení paliva se vzduchem a jeho rozptýlení v něm, nastává v karburátoru. Karburátor je připojen neprodyšně na nasávací troubu motoru, takže veškerý nasávaný vzduch musí jím procházet. Palivo vede z nádržky do karburátoru potrubím na palivo buď přímo vlastním spádem, je-li nádržka výše než karburátor, anebo se do karburátoru čerpá čerpadlem na palivo. V karburátoru je škrtkící klapka, jíž se řídí množství palivové směsi vstupující do válců a tím výkonost (otáčky, rychlost jízdy) motoru. Škrtkící klapka je spojena soustavou pák a táhel s akcelerátorem, menším to pedálem, obsluhovaným pravou nohou řidiče.“ [2, str. 109]

Použití karburátoru ke smíšení paliva se vzduchem však patří k starším způsobům míšení směsi. Dnes se nejvíce používají tzv. vstřikovače, které nahradily používání karburátoru u nových vozidel. Zejména z hlediska přesnosti a regulovatelnosti se od karburátorů upustilo, jelikož se čím dál větší důraz klade na emise agregátů. Možnost přesně a elektricky řídit vstřikování paliva je naprostou nutností. [3],[11]

4.1 Vstřikování

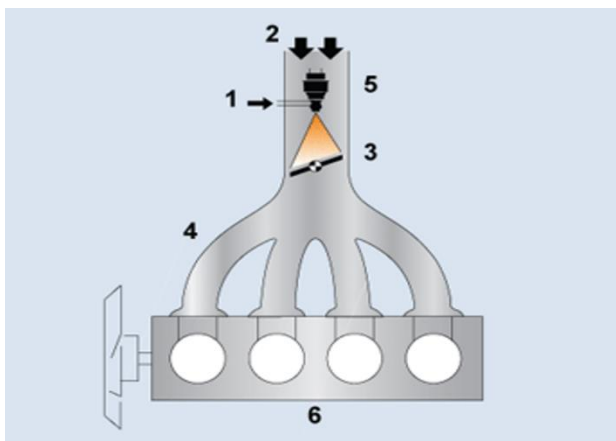
Pravidla vstřikování dle Formula Student FSAE viz. Příloha 1

4.1.1 Nepřímé vstřikování

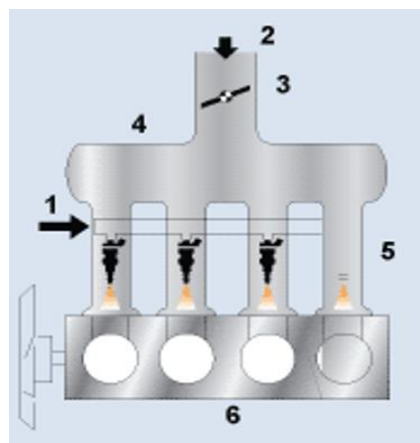
Vstřikování se dělí na různé druhy. Prvním druhem je nepřímé vstřikování, které funguje na principu vstřiku paliva pod tlakem před válcem motoru, tudíž elektromagnetický vstřikovač mísí palivo v sacích kanálech motoru či v sacím potrubím. To se dělí na jednobodové (Obr.12) SPI (single point injection) a vícebodové (Obr.13) MPI (multi point injection). SPI spočívá v tom, že jeden elektromagnetický vstřikovací ventil přerušovaným vstřikem dodává palivo a mísí jej se vzduchem před škrtkící klapkou. MPI funguje na principu, kdy je více elektromagnetických vstřikovačů za klapkou. Konkrétně na každý válec jeden



vstřikovač. Ten pak tvoří palivovou směs se vzduchem těsně u sacího ventilu agregátu. [4],[11]



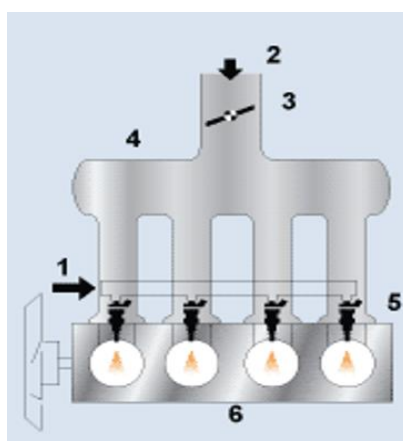
Obr. 12 – jednobodové nepřímé vstřikování [3]



Obr. 13 – vícebodové nepřímé vstřikování [3]

4.1.2 Přímé vstřikování

Princip přímého vstřikování (Obr.14): „Palivo je vstřikováno elektromagnetickými vstřikovacími ventily přímo do válců motoru. Tyto systémy pracují s vysokotlakým palivovým čerpadlem, které dokáže vytvořit vstřikovací tlak až 12 MPa (120bar). Největší výhodou je snížení měrné spotřeby paliva oproti nepřímému vícebodovému vstřikování až o 15%.“[4, str.156]



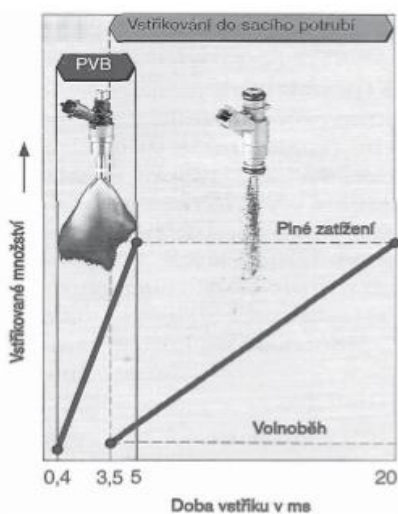
Obr.14 – přímé vstřikování [3]

4.1.3 Vstřikovací ventil

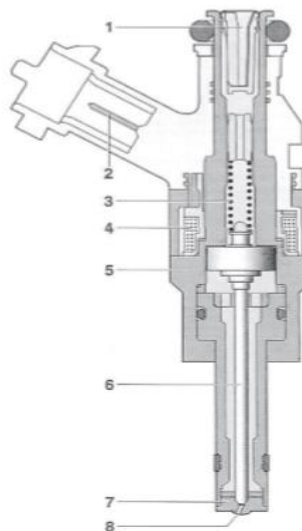
Úkolem vstřikovacího ventilu je tvořit palivovou směs ve správných dávkách tak, aby byl plynulý chod motoru. Vstřikovací ventil funguje na principu, kdy je ventil uchycen na vstřikovou rampu, ve které je natlakovaný benzín. Vstřikovací ventil byl zkonstruován k tomu, aby tento benzín ze vstřikovací rampy dávkoval pomocí elektricky ovládané cívky,



jehly, pružiny a se vzduchem vytvořil palivovou směs. Tuto směs může tvořit buď ve válci (přímé vstřikování) nebo mimo válec (nepřímé vstřikování) (Obr.15). Zde se také dělí druhy vstříků. Zatímco nepřímé vstřikování pracuje s menšími tlaky, proto také potřebuje delší dobu na vstřik paliva, přímé vstřikování je pod velkým tlakem, a tak jsou vstřikovací ventily uzpůsobeny pro vysoké tlaky a kratší dobu vstřiku. Přímé vstříky (Obr.16) mají také pomocí vysokého tlaku lepší rozprášení paliva do vzduchu. Tím tvoří kvalitnější palivovou směs s nižší spotřebou paliva. [3],[11]



Obr.15 Porovnání vstříků – doby vstřiku na množství [11]

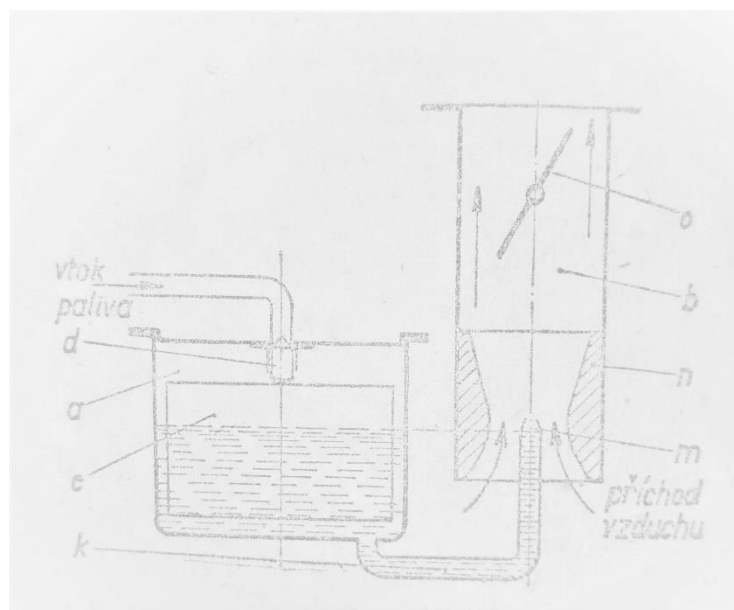


1 – přítok s jemným sítkem, 2 – elektrická přípojka, 3 – pružina, 4 – cívka, 5 – pouzdro, 6 – jehla trysky s kotvou, 7 – sedlo ventilu, 8 – výstupní otvor ventilu

Obr.16 vysokotlaký vstřikovací ventil [11]

4.2 Karburátor

Karburátor (Obr.17) slouží k míšení vzduchu s benzínem na palivovou směs pro zážehové motory. Když jde píst motoru do dolní úvratě, otevře se sací ventil a vzduch je nasáván přes vzduchový filtr a karburátor do válce. Když jde vzduch do karburátoru, prochází zúženou částí, kde se zmenšuje průřez trubice. Zde se vzduch urychlí. Využíváme zde Venturiho trubici a Bernoulliho jev. Za zúženým místem je Venturiho trubice u jejíhož ústění do sání se tvoří podtlak, který nasaje palivo, to se rozpráší na malé kapičky nebo odpaří do vzduchu. Společně s palivem tvoří potom palivovou směs. Po nasátí paliva poklesne hladina spolu s plovákem v plovákové komoře a tím otevře ventil pro přívod paliva. Palivo opět nateče do plovákové komory a čeká na další cyklus motoru, kdy bude znovu nasáto. [2],[5],[9]



Obr.17 karburátor [2]



5. Návrh palivového systému pro FS.12

Základním stavebním kamenem při návrhu nových spolehlivých komponent je zkušenost. Pouze zkušeností z testů můžeme poznat různá úskalí navrhnutých částí komponent či dokonce celků, jako je například monopost týmu CTU Cartech. V týmu se však mění členové velmi rychle, protože většinou studují na škole pouze 6 let a do týmu nastupují povětšinou až v 2. ročníku. Je proto velmi důležité, aby si bývalí i současní členové předávali zkušenosti toho, co se například neosvědčilo anebo naopak co byl dobrý nápad a mohl by být zrealizován a součást tak vylepšena.

5.1 Zástavbová struktura

Na monopostu FS.12 týmu CTU Cartech je hlavním úkolem zlepšit aerodynamiku vozu, ovladatelnost vozu, se kterou souvisí těžiště a samozřejmě zmenšit hmotnost. Proto je nejdůležitější část vozu monokok se zadním rámem (Obr.18). Na tuto část vozu se dále připevňují další nezbytné komponenty. Monokok vozu FS.12 je navrhnut vždy z důvodu nejdůležitější části vozu jako první. Je navrhnut tak, aby řidič seděl co nejnižše. Řidičova hmotnost má totiž největší vliv na těžiště monopostu. Pravidla nám jasně určují, že palivová nádrž musí být uprostřed mezi všemi 4 koly a nesmí být výše než křivky trojúhelníku. Ten tvoří kola nejvyšším bodem rámu, jenž slouží pro ochranu při převrácení vozu. Zároveň palivový systém musí být ochráněn před jakýmkoliv zdrojem tepla a musí být dále než 50 mm od výfuku.



Obr.18 Monokok vozu FS.12



5.2 Pozice nádrže

Když si pozorně prohlédneme monokok vozu zjistíme, že pokud chceme mít těžiště co nejnižší tzn. aby nádrž byla umístěna na dně monokoku, jsou zde pouze dvě pozice, kam by bylo možno nádrž umístit. První pozice je pod nohama řidiče. Tato pozice je poměrně nebezpečným řešením při nasedání, kdy by řidič mohl zatížit palivovou nádrž tak, že by mohla prasknout. Nádrž by tedy musela být bytelná a tím pádem i těžká, aby to bylo pro pilota bezpečné a neriskovali jsme závadu. Pozice pod nohama řidiče je také velmi nevýhodná z toho důvodu, že by palivové vedení muselo být velmi dlouhé. Vůz FS.12 má totiž motor za zády řidiče. Další, ne z zcela poslední nevýhoda je ta, že by byl problém zde umístit hrdlo nádrže. Proto je z hlediska bezpečnosti, těžiště i hmotnosti vozu lepší pozice pod sedadlem řidiče. Zde je možnost vyvést hrdlo nádrže za ramenem řidiče a palivové vedení není tak dlouhé. Tato pozice je blíže agregátu vozu. Avšak zde si musíme dát pozor na pravidlo určující vzdálenost od výfuku (50 mm), protože výfuk se nachází hned za stěnou monokoku.

5.3 Materiál nádrže

Palivové nádrže do automobilů se dělají z různých materiálů, nejvíce však z plastu. Naše palivová nádrž je však určena na monopost FS.12, tudíž by měla vykazovat co nejmenší hmotnost. Plast však do tohoto zařadit nemůžeme, protože aby byla nádrž pevná, byli bychom nuceni použít plastový materiál, který má větší tloušťku. Dalším materiálem, který lze použít, je hliník. Hliník má velmi dobré vlastnosti pro naše využití a je velmi dobře zpracovatelný. Nádrž, jenž by byla vyrobena z hliníku, by měla velikou výhodu v pevnosti a zároveň nízké hmotnosti. Snadná by byla i výroba. Nádrž by se skládala ze svařených hliníkových plechů. Další možností je nějaký pružný lehký materiál, který by byl použit jako palivový vak. Ale jelikož nám pravidla nakazují mít pružné palivové vaky v další pevné schránce, nebyla by zde žádná hmotnostní výhoda. Nejlepším řešením, dle mých rešerší, bude karbon. Výroba nádrže z karbonu bude složitější než z hliníku, avšak umožní nám výrazné ušetření hmotnosti. Při výrobě palivové nádrže z karbonu musíme počítat s výrobou formy. Tu jsme schopni vyrobit z ocelových plechů. Zároveň by měla forma mít všechny stěny zkosené, aby bylo možné výrobek vytáhnout ven. Taktéž nejsme schopni nádrž vytvořit najednou, ale budeme si muset zvolit dvě části, které slepíme k sobě lepidlem odolným benzínu, Loctite 9466. V Našem případě se bude jednat o dno s hranami na bezpečné slepení a vršek nádrže.

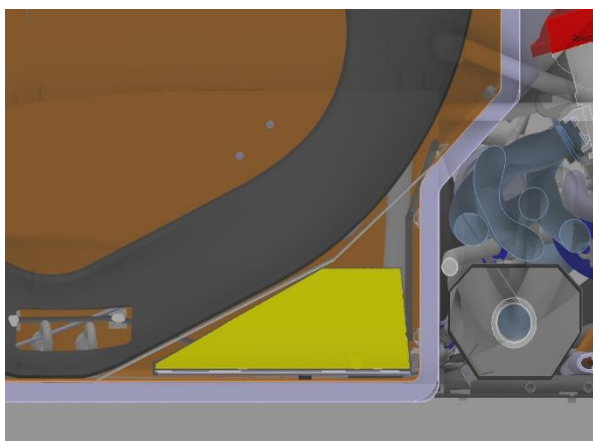


5.4 Tvar nádrže

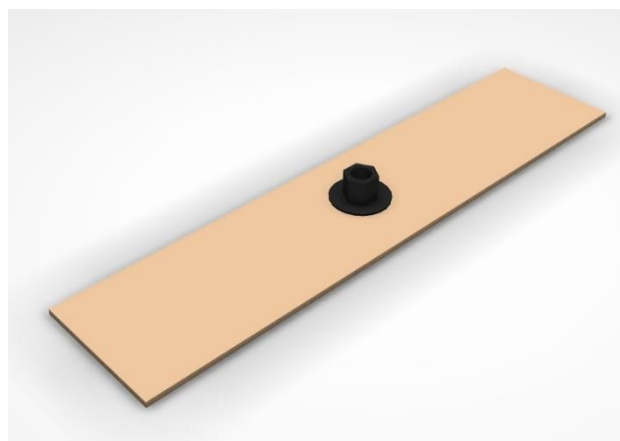
Jelikož je pozice nádrže rozhodnuta, je potřeba vytvořit takový tvar nádrže, aby nebyla s ničím v kolizi a vyhovovala tak pravidlům Formula Student SAE. Se shora jsme omezeni výškou a šikmou křivkou sedadla, od spodu jsme zas omezeni podlahou monokoku. Dno nádrže bude taktéž záviset na palivovém filtru. Palivový filtr je nezbytnou součástí palivového systému a má více variant. V první řadě můžeme filtr zapojit přímo na palivové vedení. V tomto případě se však budeme potýkat s vyšší hmotností, protože palivové filtry na vedení paliva disponují palivovou komorou, kde se nachází filtrovací zařízení. Tato komora je vždy naplněna benzínem, který by nám v tomto případě navýšil hmotnost vozu. Další možností je hrubý filtr pouze na sací hadici. Zde se ale vyskytuje další problém, který říká, že pokud by bylo vozidlo v prudké zatáčce nebo akceleraci a paliva v nádrži nebylo dostatek může se stát, že sací trubice nebude zásobena palivem. Všechn benzín by se nahromadil u stěny nádrže a vznikly by zde bubliny ve vedení. Ty by způsobily nedostatek paliva pro agregát a ten by neměl dostatečný výkon. Třetí a nejlepší řešení je palivový filtr ve tvaru dečky (Obr.19). Tento filtr se rozloží po dně nádrže. Jelikož je vybaven speciální technologií, je schopen sát benzín z kteréhokoliv místa na tomto filtru. Tomu pomáhají póry po celém filtru a ty se po styku se vzduchem uzavřou. Pokud jsou však ve styku s benzínem, jsou tyto póry otevřeny a benzín může proudit dále do sací hadice. Tyto filtry jsou však prodávány pouze v určitých tvarech. Tvary velmi ovlivňují dno naší nádrže, protože pro stálý přísun benzínu je nutné, aby filtr pokrýval celé dno nádrže. V nabídce těchto filtrů jsou tvary obdélníkové, čtvercové a různé kříže. My však chceme, aby tvar nádrže byl co nejjednodušší a nejlehčí na výrobu. Proto jsou zde 2 reálné možnosti. Obdélník či čtverec. Nejmenší čtvercové filtry jsou 38x38cm nebo 27x27cm. Z těchto dvou typů se nám teoreticky pod sedadlo vejde jen jeden a to 27x27cm. Tvar nádrže s tímto filtrem by však musel zasahovat hluboko pod sedadlo. Zde narážíme na zkušenosti z předešlých let, kdy nádrž byla ve voze FS.11 takto pod sedadlem (Obr.20) a pod vahou pilota se sedadlo prohýbalo a docházelo zde ke kontaktu s nádrží. To je proti pravidlům Formula Student. Z obdélníkových tvarů můžeme použít rozměr 40x10. Nádrž bude úzká a vyšší než v předchozích letech, ale budeme se potýkat s horším těžištěm. To lze vyřešit tak, že palivovou pumpu můžeme umístit před nádrž místo uchycení nad ní jako to bylo na voze FS.11. Pomůže nám to ve zlepšení nižšího těžiště. Zároveň nebudeme riskovat, že bychom



mohli být vyloučeni ze závodů Formula Student kvůli kolizi sedadla s nádrží. Posledním elementem v tvaru nádrže hraje potřebný objem. Z vypočítaných dat pro vůz FS.12 je předpokládaná spotřeba na jeden vytrvalostní závod okolo 4 litrů paliva. Musíme však připočítat rezervu, jelikož se tratě liší a spotřeba je na každé trati jiná. Proto tedy budeme navrhovat nádrž pro 4,7 litrů paliva.

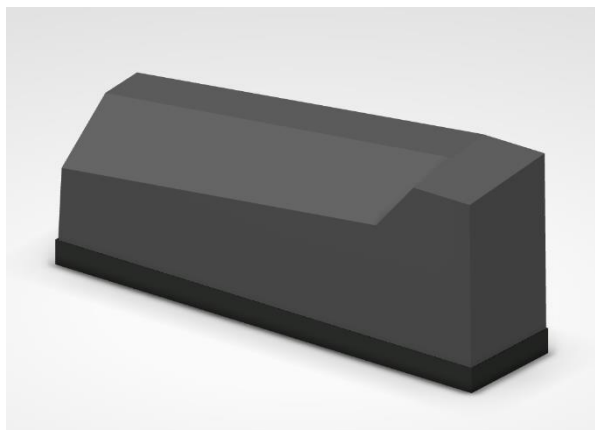


Obr.20 Vůz FS.11 v řezu- nádrž(žlutá) moc blízko sedadlu (šedá)



Obr.19 Filtr tvaru dečky

Tato všechna omezení nám určují konečný tvar nádrže (Obr.21). Ten by měl být samozřejmě co nejjednodušší, aby byla možná co nejlevnější a nejrychlejší výroba. Pokud předpokládáme, že by nádrž měla být z karbonu (viz. Kapitola 5.3) je taktéž nutné, aby zde byl předpoklad pro výrobu forem. Stěny formy musí být pod malým tupým úhlem. Tento úhel je důležitý k možnosti vybrání skeletu z formy. Po množství tvarů nádrže jsem vybral jeden tvar, který splňuje všechna očekávání. Nádrž se nachází dostatečně daleko od sedadla, zároveň má co nejnižší těžiště. Vrchní část je vyjmutelná z formy díky zkoseným stěnám a zároveň je zde místo na uchycení plnicí trubice.



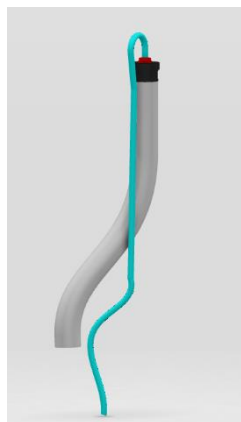
Obr.21 Tvar palivové nádrže pro vůz FS.12

5.5 Hrdlo nádrže

Pro hrdlo nádrže zde máme několik možností. První možností je to, že by hrdlo vedlo skrz monokok, mělo transparentní trubici a bylo tak viditelné velmi nízko. Tím bychom ušetřili váhu za menší délku hrdla. Také bychom získali nižší těžiště. Toto řešení bylo použito na nádrži FS.10. Veliká nevýhoda tohoto řešení je však ta, že hrdlo, jenž se tyčí ven z monokoku, velmi ovlivňuje proudění vzduchu po stranách vozu. Je tu možnost, že by hrdlo vedlo z vozu ven, avšak v monokoku by musel být výklenek pro zabudování hrdla. Zde by však přibyl materiál na výklenek monokoku, a to je hmotnost navíc. Na voze FS.11 kvůli odlišnému tvaru monokoku bylo zvoleno hrdlo z transparentní trubice, (Obr.22) které přesahuje stěnu monokoku o 150 mm (125 viditelná část paliva dle pravidel plus víčko). Tento způsob se zdá velmi užitečný, protože je jednoduchý pro výrobu a zároveň jsme schopni jednoduše uchytnout hrdlo k ochrannému rámu vozu. Také neovlivňuje postranní protékání vzduchu. Vzniká tu však jiný problém z důvodu pravidel musí být každá část palivové soustavy odstíněna firewallem (stěna mezi potencionální hrozbou tepla od horkých částí motoru). Takže pokud bude hrdlo nádrže přesahovat stěnu monokoku o 150 mm, kde ještě z víčka nádrže vede ventilační hadička vysoká 50 mm, musíme za toto hrdlo umístit izolační stěnu ve výšce 200 mm. Tato stěna dle modelu proudění vzduchu také velmi ovlivňuje proudění vzduchu kolem monokoku a brzdí vzduch proudící na zadní křídlo vozu. Na vůz FS.12 tedy použijeme netransparentní trubici nádrže, abychom se nepotýkali s aerodynamickými problémy. Netransparentní trubice znamená, že musíme mít u nádrže pomocnou trubičku, která nám bude ukazovat hladinu paliva 125 mm dle pravidel (Obr.23). Tato trubice bude uchycena k nalévací přírubě, kde bude navařen zobáček. Jelikož je



transparentní trubice velmi těžká a v případě FS.11 byla delší než na voze FS.12 ušetříme i hmotnost ačkoli zde přibude ještě jiná hadice na měření hladiny. Hmotnost také ušetříme,

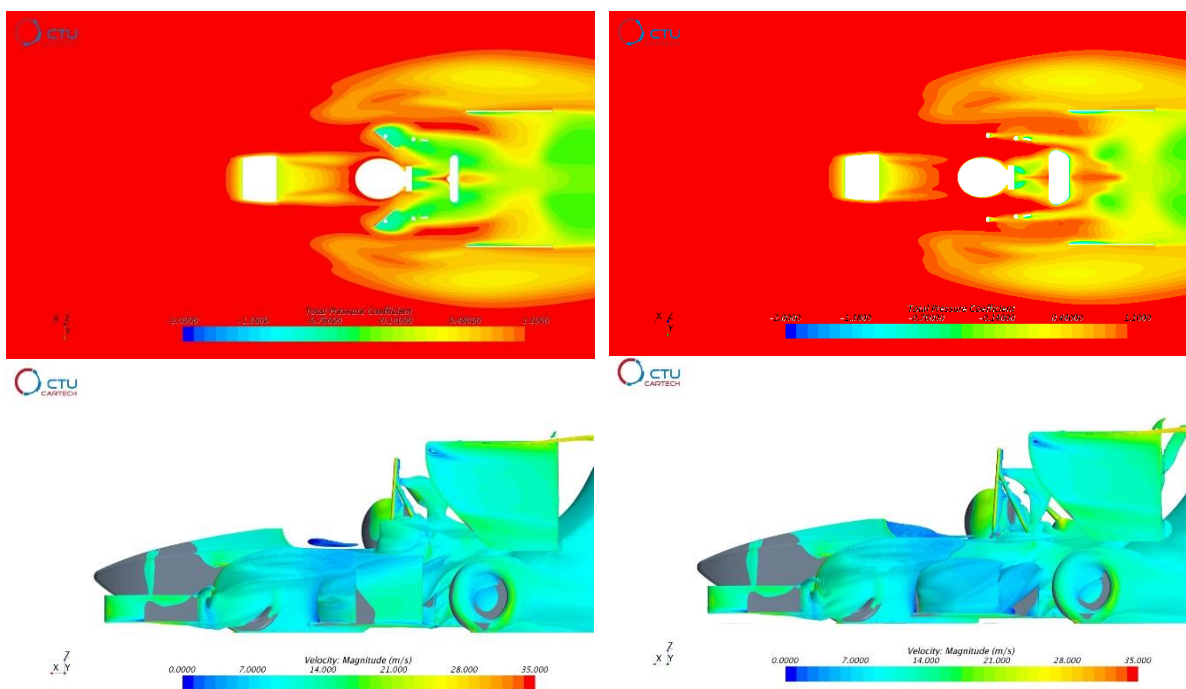


Obr.22 Hrdlo nádrže s transparentní trubicí FS.11



Obr.23 Hrdlo nádrže s pomocnou trubicí hladiny paliva vozu FS.12

protože zde bude nízký firewall, který taktéž bude méně ovlivňovat proudění vzduchu nad monokokem vozu (Obr.24). Na voze FS.11 bylo použito hrdlo nádrže s víčkem a ventilační trubicí bez ventilu a bez spon o hmotnosti 366 g. Nové hrdlo na vůz FS.12 má hmotnost s víčkem a ventilační trubicí a také bez spon a ventilu 302 g. (zváženo v Catii V6)

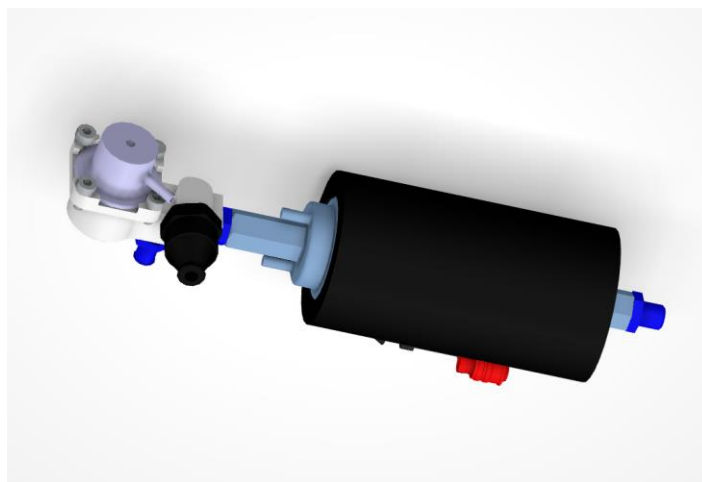


Obr.24 Simulace proudění vzduchu v porovnání řešení FS.11 a FS.12



5.6 Palivová pumpa a její příruba

Při výběru palivové pumpy se řídíme hlavními aspekty a tím jsou hmotnost, spotřeba, tlak, který je schopno čerpadlo konstantně držet. Z těchto kritérií nejlépe vyhovuje vysoce výkonné čerpadlo Walbro, jenž je dostupné v katalogu ISA-racing. Toto čerpadlo je velmi výkonné, při konstantním tlaku 5 bar je schopno dopravit 222 l/h. Pro naše účely postačí tlak 3 bar při kterém je schopno dopravit 270 l/h. Použité čerpadlo má oproti ostatním velmi nízkou váhu 482 g. K této pumpě jsem navrhl přírubu (viz. Příloha 2), která zároveň slouží i jako držák regulátoru tlaku paliva (Obr.25). Tato příruba je navrhnutá tak, aby v ramenu před regulátorem byl stálý tlak 3 bary. Odtud jde hadice do vstřikovací rampy. Pod regulátorem je odvod přebytečného paliva z regulátoru zpět do nádrže a je zde ještě závit pro snímač tlaku paliva. Tato příruba se bude vyrábět z hliníku na CNC stroji. Regulátor tlaku paliva použijeme z Yamahy YZF-R6, protože tento motor je použit na pohon vozu CTU-Cartech. Regulátor je zkonstruován pro udržení tlaku 3 bar. Tím že použijeme výše uvedený regulátor tlaku paliva, ušetříme náklady. Zmíněné regulátory máme k dispozici po koupi agregátu, a navíc se vyznačují dlouhou životností.



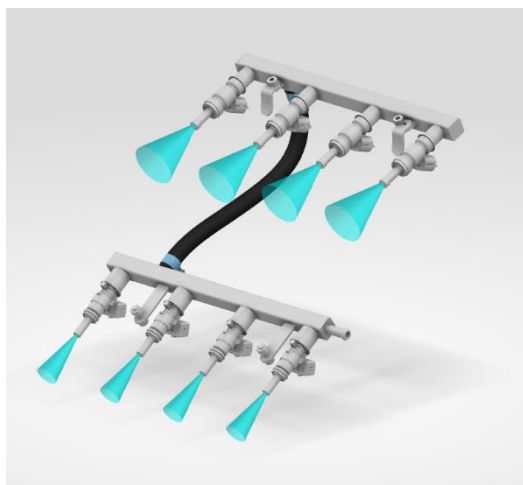
Obr.25 Palivová pumpa Walbro GLS, příruba s regulátorem a snímačem tlaku paliva

5.7 Vstřikovací systém

Na vozy týmu CTU-Cartech se používají dvě sady vstřikovacích ventilů (Obr.26). Primární vstřikovače jsou použity na vstřik do ventilových kanálů a sekundární vstřikovače jsou použity pro obohacení směsi v airboxu sání motoru. Dle předešlých studií kolegy bylo



zjištěno, že nejideálnější vstřikovací ventily jsou vstřikovače Bosch EV 14 CKxT. Tyto vstřikovače jsou připevněny na vstřikovací rampě, jež je vyrobena z hliníku. Vstřikovací rampa je vyrobena z profilu čtvercového průřezu, přičemž průřez je dostatečně velký, aby zde nedocházelo k pulzacím a poklesům tlaku paliva. Jednotlivé držáky na vstřiky jsou spolu se zásobovací trubicí a čely rampy na vstřikovací rampu navařeny metodou TIG. To umožňuje svářet hliník. Primární a sekundární rampy vstřikovačů jsou propojeny sériově hadicí.



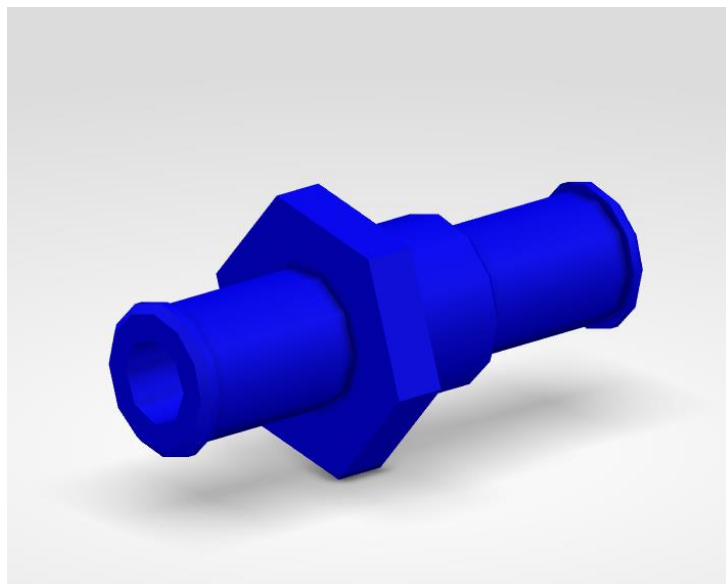
Obr.26 Vstřikovací soustava vozu FS.12

5.8 Palivové vedení s fitinkami

Pomocí palivového vedení se přepravuje palivo do vstřikovací rampy. Tudíž je palivové vedení dost dlouhé. Tím pádem jsou vysoké nároky na hmotnost. Dle pravidel Formula Student však musí být hadice otěruvzdorné. Dle mých rešerší nejlépe těmto požadavkům vyhovuje hadice FUB 386. Tato hadice vyhovuje také pravidlům z hlediska teplot. Odolná je teplotám až 120°C. Jádrem hadice je vyrobeno z materiálu NBR, který je benzínu vzdorný. Obal je ošetřen proti otěru pomocí syntetické pryže. Hmotnost této hadice je 114 g/m při průřezu hadice 8/14 mm. Hadice a celé palivové vedení bude spojeno fitinkami se sponou. Ta musí tlačit na hadici v celém rozsahu úhlu průřezu 360° dle pravidel Formula Student. Fitinky jsem navrhl tak, aby je bylo možné vyrobít na soustruhu (Obr.27), aby šly řádně utáhnout klíčem 14 mm a měly co nejmenší hmotnost. Materiál volím hliník. Na jejich středu je vždy šestihran 14 mm. Na utěsnění se stěnou nádrže či přírubou regulátoru budou potřeba hliníkové podložky. Fitinek bude 6 druhů. Použijeme je na redukci z palivového filtru na hadici. Pomocí fitinek jsme schopni vést palivo skrz stěnu



nádrže. Fitinky budou před čerpadlem a další bude spojovat čerpadlo s přírubou regulátoru. Další dvě fitinky použijeme na přechod z regulátoru paliva do hadice, která vede do vstřikovací rampy a druhou fitinku použijeme do zpětné hadice nádrže. Výkresy 2 druhů fitinek v příloze (Příloha č.3 a 4)



Obr.27 Fitinka jdoucí skrz stěnu nádrže

5.9 Úchyty

5.9.1 Uchycení nádrže k monokoku

Aby monopost mohl být bezpečně zatěžován i v nejtvrděších podmínkách závodu endurance na akci Formula Student, musí být palivová nádrž bezpečně připevněna k vozu. Pro tyto účely jsem navrhl uchycení, které by mělo být maximálně bezpečné, zároveň lehké a nejméně zasahující do struktury monopostu. Navrhl jsem tři držáky nádrže tvaru L, které budou lepeny na samotnou nádrž lepidlem Loctite 9466 (datasheet viz příloha 5). Lepidlo je odolné vůči rozpouštědlům a benzínu, tudíž nebude možné spoj poškodit při dolévání nádrže. Tyto držáky budou přes matici a silentblok s oboustranným závitem M5 přikotveny k monokoku pomocí vlepeného insertu se stejným závitem (Obr.28). Silentbloky zajistí ochranu proti častým vibracím při závodě. Nejvíce kritické místo v tomto spojení je lepený spoj. Z dokumentace k lepidlu jsem zjistil, že lepený spoj na uhlíkové vlákno má pevnost ve smyku 5 N/mm^2 . Monopost při největším zatížení při závodech nepřesáhne přetížení 2,5G (viz příloha č.6). Pro výpočet budeme počítat s extrémní situací, tedy dynamickou konstantou 2. Palivová nádrž i s příslušenstvím a palivem váží 6 kg. My budeme počítat



s poruchovým stavem, a tedy že se pod sedadlem uvolnil jiný díl a zatížil nádrž tak, že váží 10 kg. Tudíž kontrolní výpočet bude za použití tří držáků nádrže vypadat takto:

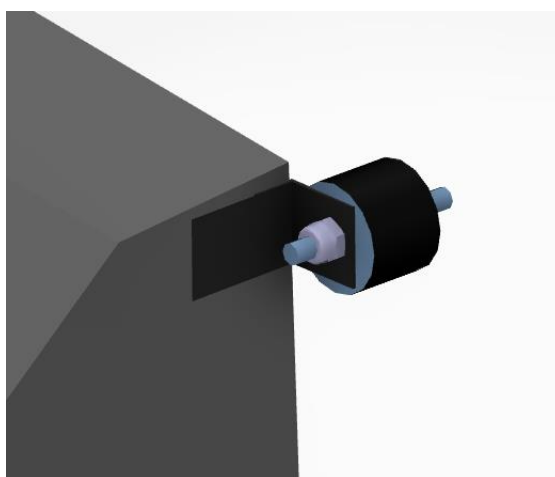
Síla působící na nádrž v maximálním přetížení:

$F = a * m = 9.84 * 2 * 2,5 * 10 = 492N$	(1)
--	-----

Potřebná plocha tedy pro přilepení držáků je:

$S = \frac{F}{\sigma} = \frac{492}{5} = 98,4mm^2$	(2)
---	-----

Výsledná plocha pro přilepení je tedy 100mm² Pro balanc nádrže použijí tři držáky s touto plochou přilepení.

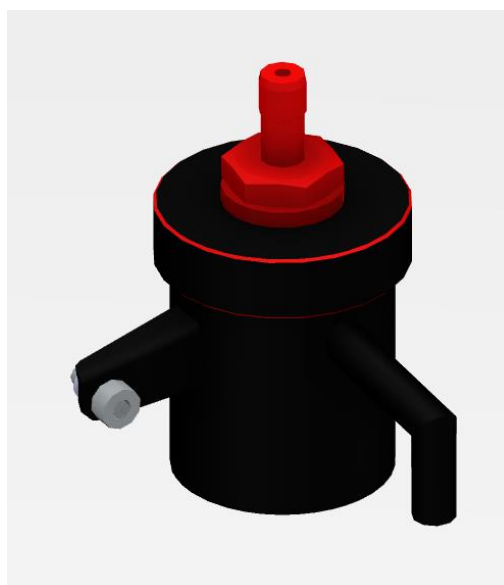


Obr.28 systém uchycení nádrže k monokoku



5.9.2 Uchycení hrdla nádrže k nádrži a rámu

Hrdlo nádrže je hlavně při začátku závodu (plné nádrži) velmi náchylné na uvolnění. Proto je nutno zafixovat pozici plnicího hrdla, aby nedošlo k uvolnění či úniku paliva. Pro náš případ jsem navrhl víčko nádrže, ve kterém je na středu otvor pro ventil na ventilaci nádrže. Tento ventil mi přijde pro naše účely nejvhodnější – díl 6611-22 z katalogu isaracing. Je velmi lehký a při uvolnění hrdla či převrácení vozu nepropustí v závěrném směru benzín. K víčku jsem navrhl přírubu, jež bude vysoustružena. Na přírubu bude navařen držák tvořící zaoblený plech 3 mm s otvorem na upevnění na rám. Tento plech je zaoblený z důvodu větší pevnosti. Dále na tuto přírubu bude navařena trubička na pomocnou trubici. (Obr.29) [7]



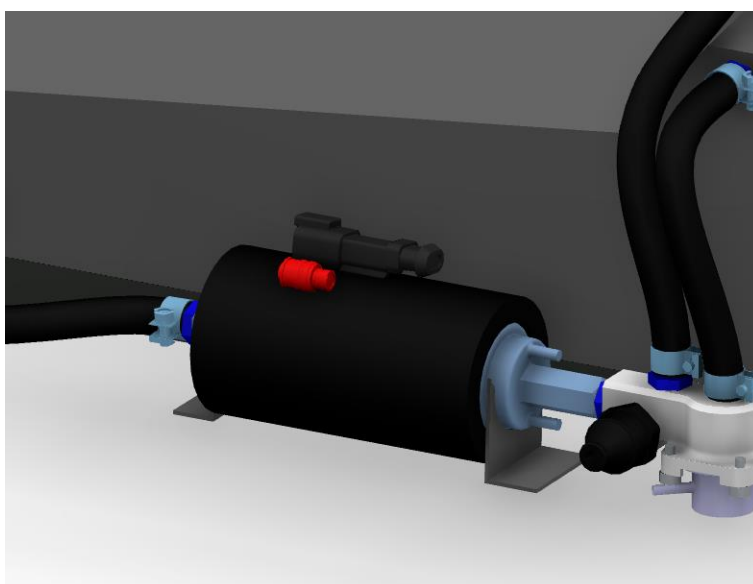
Obr.29 Hrdlo nádrže s víčkem a držákem

5.9.3 Uchycení palivového filtru a palivové pumpy

Důležitým aspektem palivového filtru, který používáme je, aby filtr zakrýval celé dno nádrže. To jsme schopni zajistit různým uchycením. Na voze FS.11 jsme uchycení filtru ke dnu zajišťovali L profily přilepené na vnitřní stěnu nádrže, Tyto L profily měly za úkol držet děrovaný plech u dna tak, aby byl filtr rozložen po celém dně a mohl čerpat benzín za každých situací. Toto bylo pro nás bezpečné bezporuchové řešení. Věděli jsme totiž, že L profily můžeme přilepit ke stěnám a vlivem benzínu se neuvolní. Pro vůz FS.12 jsem však chtěl ušetřit co nejvíce hmotnosti, proto jsem diskutoval s firmou vyrábějící tyto palivové filtry. Ta mi potvrdila, že je možné palivový filtr ke dnu nádrže přilepit v rozích tohoto filtru.



Pro tyto účely jsou tam připraveny lepicí plochy. Tímto jsme ušetřili 15g hmotnosti a spoustu práce vyráběním L profilů z karbonu a plechu z hliníku. Další uchycení, které je jiné než na přechozích vozech, je fixace palivové pumpy. Toto uchycení bylo v minulých letech řešeno stahovacími páskami připevněných k nalepenému očku na stěně monokoku. Toto řešení však nebylo z hlediska technických přejímek ideální, proto jsem navrhl uchycení pomocí tvarovaných karbonových L profilů (Obr.30). Ty budou podpírat palivovou pumpu na přední a zadní straně. Mezi pumpou a profilem bude elektrikářská guma používající se do přechodových děr, abychom co nejvíce zabránili vibracím a selhání palivové pumpy. Tato pumpa podepřená o tyto L profily bude navíc stáhnuta stahovací páskou ke dnu monokoku.



Obr.30 držák palivové pumpy



6. Model navrhnuté palivové soustavy v programu CATIA V6





7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo prohloubit si poznatky o palivové soustavě spalovacích motorů. V první polovině této práce jsem udělal rešerši možných palivových systémů s více druhy vstřikovacích systémů. Také je zde vysvětlena funkce jednotlivých komponent palivové soustavy a jejich možné druhy. Jsou zde též vysvětlena pravidla palivových systémů ze soutěže Formula Student.

V druhé polovině se tato práce zabývá vývojem a návrhem palivového systému pro vůz Formula Student. Palivová soustava je navrhována tak, aby byla schopna zvládnout celou sezonu závodů a byla co nejméně poruchová. Vyřešil jsem problémy, se kterými se potýkaly palivové soustavy z předchozích monopostů. Soustava je taktéž navrhována s co nejmenší možnou hmotností, ale také aby bylo možné zhotovení v studentských dílnách.

Palivová soustava váží 2,322kg bez vstříků a vstřikovací rampy. Disponuje vysoce kvalitním čerpadlem. Nádrž je zhotovena z karbonového vlákna a má objem 4,7l. Taktéž je zde vysvětlena problematika palivového hrdla, kde jsem dospěl k závěru použít netransparentní hrdlo s pomocnou trubicí pro hladinu paliva. Palivová soustava je navržena včetně uchycení k monokoku vozu.

V dalších krocích bude potřeba palivový systém řádně otestovat. Zejména životnost a také například při jakých hodnotách paliva bude poklesávat tlak paliva. U budoucího návrhu a dalšího vývoje by bylo možné se zaměřit na tvar nádrže. Nádrž by mohla kopírovat lépe sedadlo a forma pro tuto nádrž by mohla být zkonstruována pomocí CNC stroje. Tato možnost však vyžaduje velké náklady.



8. Použitá literatura

- [1] CTU Cartech [online] In:[cit. 2020.05.14] Dostupné z <https://cartech.cvut.cz/formula-student/>
- [2] VÁŠA, Alois. Rukověť pro řidiče motorových vozidel. 5., opravené a doplněné vydání. Praha: Naše vojsko, 1950.
- [3] Vstříkování [online] dostupné z [http://br.bosch-automotive.com/en/internet/parts/parts and accessories 2/motor and sytems/benzin/injection system/injection system 3.html](http://br.bosch-automotive.com/en/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_sytems/benzin/injection_system/injection_system_3.html)
- [4] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. Výkladový automobilový slovník. 4., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2011. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 978-80-251-3725-3.
- [5] Karburátor [online] dostupné z <https://www.skoda-motorsport.com/cs/pisen-vzduchu-benzinu-jak-funguje-karburator-automobilova-technologie/>
- [6] Mechanické čerpadlo [online] dostupné z <http://www.turbo-tec.eu/cz/vstrikovaci-cerpadla/>
- [7] ISA-racing katalog [online] dostupné z <https://www.isa-racing.com/download/ISA-Katalog-2020.pdf>
- [8] Gscheidle, R. a kol. (2001): Příručka pro automechanika. SOBOTÁLES, Praha, 629 str., ISBN: 80-85920-76-X.
- [9] DOBROVOLNÝ, Bohumil. Jak pracují stroje. Praha: Práce, 1975. Kamarád (Práce).
- [10] SMITH, Carroll. Prepare to Win: The nuts and bolts guide to professional race car preparation. Fallbrook: Aero Publishers, 1975. ISBN 0-9651600-3-3.
- [11] HROMÁDKO, Jan. Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [12] Pravidla Formula Student [online] dostupné z https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2020/rules/FS-Rules_2020_V1.0.pdf
- [13] Fotografie FSCZ [online] dostupné z <https://fsczech.smugmug.com/Photo/2019/Saturday/i-4HLKbkV/A>



9. Seznam obrázků

Obr. 1 - Monopost FS.11	9
Obr. 2 – Tým CTU Cartech po výhře na závodě FSCZ [13]	10
Obr. 3 - Hliníková palivová nádrž [7].....	12
Obr. 4 - Sportovní palivová nádrž ATL [7]	12
Obr. 5 - Schéma palivové soustavy	13
Obr. 6 - Elektrické čerpadlo BOSH z vozu BMW e36 325i.....	14
Obr. 7 - Výstředníkový mechanismus čerpadla	14
Obr. 8 - Mechanické čerpadlo BOSH a ZEXEL [6]	14
Obr. 9 - Palivový filtr BOSH [7]	15
Obr. 10 - Zjednodušené schéma klíčky v nádrži.....	15
Obr. 11 - Regulátor tlaku paliva v řezu [8]	16
Obr. 12 - Jednobodové nepřímé vstřikování [3]	18
Obr. 13 - Vícebodové nepřímé vstřikování [3].....	18
Obr. 14 - Přímé vstřikování [3]	18
Obr. 15 - Porovnání vstřiků – doby vstřiku na množství [11]	20
Obr. 16 - Vysokotlaký vstřikovací ventil [11]	20
Obr. 17 - Karburátor [2]	21
Obr. 18 - Monokok vozu FS.12	22
Obr. 19 - Filtr tvaru dečky	25
Obr. 20 - Vůz FS.11 v řezu – nádrž(žlutá) moc blízko sedadlu (šedá)	25
Obr. 21 - Tvar palivové nádrže pro vůz FS.12	26
Obr. 22 - Hrdlo nádrže s transparentní trubicí FS.11	27
Obr. 23 - Hrdlo nádrže s pomocnou trubicí hladiny paliva vozu FS.12.....	27
Obr. 24 - Simulace proudění vzduchu v porovnání řešení FS.11 a FS.12.....	27
Obr. 25 - Palivová pumpa Walbro GLS, příruba s regulátorem a snímačem tlaku pal. 28	
Obr. 26 - Vstřikovací soustava vozu FS.12	29
Obr. 27 - Fitinka jdoucí skrz stěnu nádrže.....	30
Obr. 28 - systém uchycení nádrže k monokoku.....	31
Obr. 29 - Hrdlo nádrže s víčkem a držákem	32
Obr. 30 - Držák palivové pumpy.....	33
Obr. 31 - Výsledný model palivové soustavy FS.12	34



11. Seznam příloh

Příloha č.1 – Pravidla vstřikování Formula Student

Příloha č.2 – Výkres příruby regulátoru tlaku paliva

Příloha č.3 – Výkres fitinky propojující palivové čerpadlo a hadici

Příloha č.4 – Výkres fitinky jdoucí skrz stěnu nádrže zajištěnou maticí

Příloha č.5 – Datasheet lepidla Loctite EA 9466

Příloha č.6 – Data z vozu FS.11 ukazující přetížení G a rychlost

Příloha č.7 – Obrázky modelu navrhnutého palivového systému