



Bakalářská práce

Palivový systém Formula Student TUL

Studijní program:

B0715A270008 Strojírenství

Autor práce:

Lukáš Vágner

Vedoucí práce:

Ing. Aleš Dittrich, Ph.D., Ing.Paed.IGIP
Katedra vozidel a motorů

Liberec 2024



Zadání bakalářské práce

Palivový systém Formula Student TUL

<i>Jméno a příjmení:</i>	Lukáš Vágner
<i>Osobní číslo:</i>	S20000126
<i>Studijní program:</i>	B0715A270008 Strojírenství
<i>Zadávající katedra:</i>	Katedra vozidel a motorů
<i>Akademický rok:</i>	2023/2024

Zásady pro vypracování:

- Vypracujte řešerši palivových systémů určených pro zážehové motory.
- Na základě řešerše a aktuálního technického provedení vozidla Student formula TUL navrhnete vhodnou úpravu vybraných stávajících partií na voze Student formula TUL.
- Výsledky budou využity interně v rámci Student formula TUL týmu.

Rozsah grafických prací: –
Rozsah pracovní zprávy: cca 40 stran textu
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: čeština

Seznam odborné literatury:

Basshuysen, R.; Schäfer, F. Internal Combustion Engine, SAE International, 2004. ISBN 0-7680-1139-6.

Martyr, A.; Plint, M.A.. Engine testing: theory and practice. Third edition. Amsterdam: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-8439-2.

podklady firem Bosch, Denso

běžně dostupné materiály – odborné časopisy, veletrhy, konference, internet.

Vedoucí práce: Ing. Aleš Dittrich, Ph.D., Ing.Paed.IGIP
Katedra vozidel a motorů

Datum zadání práce: 9. listopadu 2023

Předpokládaný termín odevzdání: 9. května 2025

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
garant studijního programu

V Liberci dne 9. listopadu 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Anotace

Tato bakalářská práce se zaměřuje na problematiku palivového systému a to s důrazem na proces vstřikování paliva do motoru, kde jsou rozebrány jednotlivé metody vstřikování paliva. Teoretické poznatky byly aplikovány do palivového systému studenské formule a následně znalosti byly využity pro fyzickou realizaci.

Klíčové pojmy:

formula student, lambda, odlévání, směs paliva, vstřikování paliva

Annotation

This bachelor thesis focuses on the fuel system with an emphasis on the fuel injection process into the engine, where the different methods of fuel injection are discussed. Theoretical knowledge was applied to the fuel system of the student formula and then the knowledge was used for physical implementation.

Key concepts:

casting, formula student, fuel injection, fuel mixture, lambda

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Aleši Dittrichovi, Ph.D., Ing.Paed.IGIP, za jeho cenné rady při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat Katedře strojírenské technologie, zejména panu Ing. Milanu Jelínkovi, Ph.D., za jeho vstřícnost, odborné rady z oblasti odlévání a pomoc při výrobě odlitku. Také bych rád poděkoval své rodině za podporu během celého studia a nakonec bych rád poděkoval celému týmu FS TUL Racing za jejich spolupráci.

Obsah

1 Úvod	8
2 Formula Student	9
2.1 Historie formula student	9
2.2 Tým FS TUL Racing	9
2.3 Soutěž	10
2.3.1 Statické disciplíny	10
2.3.2 Závody	10
2.3.2.1 Technické přejímky:	11
2.3.2.1 Dynamické disciplíny	11
3 Vstřikování paliva do motoru	13
3.1 Palivo pro zážehové motory	13
3.1.1 Chudá směs $\lambda > 1$	14
3.1.2 Bohatá směs $\lambda < 1$	15
3.1.3 Stechiometrická směs	16
3.1.4 Řízení směsi paliv	17
3.2 Způsoby vstřikování paliva	17
3.2.1 Simultánní vstřikování	17
3.2.2 Skupinové vstřikování	18
3.2.3 Sekvenční vstřikování	18
3.2.4 Individuální vstřikování	19
3.3 Vstřikovací systémy	19
3.4 Nepřímé vstřikování	19
3.4.1 Karburátor	19
3.4.1.1 Princip fungování karburátoru	20
3.4.2 Vstřikování paliva	21
3.4.2.1 Jednobodové vstřikování SPI	21
3.4.2.2 Vícebodové vstřikování MPI	22
3.4.3 Výhody a nevýhody nepřímého vstřikování paliva oproti karburátoru	22
3.5 Přímé vstřikování paliva do motoru	23
3.6 Kombinové vstřikování paliva do motoru	25
4 Optimalizace palivového systému	27

4.1 Předešlé provedení vstřikování paliva do motoru	27
4.1.1 Vstřikovače	28
4.1.2 Palivová lišta	28
4.1.3 Regulátor tlaku paliva	29
4.1.4 Palivové čerpadlo	29
4.1.5 Externí palivový filtr	30
4.1.6 Filtrační kříž	30
4.1.7 Palivová hadice	31
4.2 Nové provedení vstřikování paliva do motoru	31
4.2.1 Konstrukční provedení modulu	32
4.3 Výroba modulu	32
4.3.1 3D tisk	33
4.3.2 Gravitační odlévání do pískové formy	34
4.3.3 Návrh a výroba modelů	34
4.3.4 Jádro	35
4.3.5 Návrh a výroba jaderníků	36
4.3.6 Výroba jádra	37
4.3.7 Ruční formování	38
4.3.8 Odlévaný materiál	39
5 Závěr	41
Použitá literatura	42
Seznam příloh	44

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Tým	9
Obrázek 2: Endurance map [5]	12
Obrázek 3: Graf bohatosti směsi [1]	15
Obrázek 4: Simultanní vstřikování paliva [2]	17
Obrázek 5: Skupinové vstřikování paliva [2]	18
Obrázek 6: Sekvenční vstřikování paliva [2]	18
Obrázek 7: Princip karburátoru [1]	20
Obrázek 8: Systém vstřikování SPI [2]	21
Obrázek 9: Systém vstřikování MPI [2]	22
Obrázek 10: Systém vstřikování GDI [3]	24
Obrázek 11: Kombinované vstřikování [9]	26
Obrázek 12: Původní umístění vstřikovačů	27
Obrázek 13: Vstřikovač	28
Obrázek 14: Palivová lišta	28
Obrázek 15: Regulátor tlaku paliva [4]	29
Obrázek 16: Palivová pumpa [10]	29
Obrázek 17: Externí palivový filtr [11]	30
Obrázek 18: Filtr ve tvaru kříže [7]	30
Obrázek 19: Palivová hadice [6]	31
Obrázek 20: Nové umístění vstřikovačů	32
Obrázek 21: Modul navržený na 3D tisk	33
Obrázek 22: Náležitosti pro výrobu pískových forem [12]	34
Obrázek 23: 3D tištěný model	35
Obrázek 24: Pravé jádro ve formě [14]	36
Obrázek 25: Jaderník s jádrem [13]	36
Obrázek 26: 3D tištěný jaderník	37
Obrázek 27: Vyrobená pravá jádra	38
Obrázek 29: Modely ve formě	39
Obrázek 28: Pravá jádra ve formě	39
Obrázek 30: Vyrobený model	40
Obrázek 31: model s kompozitním airboxem	40

Seznam zkratk a symbolů:

Označení:	Význam	Jednotky
λ	součinitel přebytku vzduchu	[-]
db	decibel	dB
Mv	hmotnost vzduchu	Kg
Mp	hmotnost paliva	Kg
LVT	lambdový objemový průtok	l/s
Vv	objem vzduchu	m ³
ρ_v	hustota vzduch	kg/m ³
Vp	objem paliva	m ³
ρ_p	hustota paliva	kg/m ³

Seznam anglických zkratk:

Označení:	Anglický význam zkratky:	Český význam zkratky:
CNG	Compressed Natural Gas	Stlačený zemní plyn
CO	Carbon monoxide	Oxid uhelnatý
NOx	Nitrogen oxides	Oxidy dusíku
SPI	Single point injection	Jednobodové vstřikování
MPI	Multi point injection	Vícebodové vstřikování
ECU	Engine Control Unit	Řídící jednotka motoru
GDI	Gasoline Direct Injection	Přímé vstřikování
LPG	Liquified Petroleum Gas	Zkapalněný ropný plyn

1 Úvod

Formula Student je mezinárodní studentská soutěž, která se koná po celém světě a slouží jako prestižní platforma pro týmy studující na technických vysokých školách. Hlavním cílem této soutěže je umožnit studentům praktickou aplikaci a zdokonalení svých technických dovedností a znalostí v oblasti automobilového inženýrství.

V rámci této soutěže mají týmy za úkol navrhnout, postavit a následně závodit s vlastními formulovými monoposty. Tyto monoposty jsou určeny pro jízdu na závodních okruzích. Soutěžní týmy mají možnost projevit svou kreativitu, technickou znalost a inovativní myšlení při vytváření těchto vozidel.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na optimalizaci palivového systému s cílem dosáhnout vyšší efektivity motoru, což by mělo přinést týmu více bodů v závěrečné disciplíně s názvem Endurance. Další výhodou optimalizovaného palivového systému bude rychlejší odezva na plynový pedál, což přispěje k lepší ovladatelnosti a dynamice vozidla.

Díky optimalizaci palivového systému se očekává nejen zlepšení výkonu motoru, ale také celková optimalizace jeho chování v náročných podmínkách závodu.

2 Formula Student

2.1 Historie formula student

Soutěž Formula Student byla založena organizací Society of Automotive Engineers (SAE) kolem roku 1980 v USA. První závody se konaly pod názvem "SAE Mini Indy" a od té doby se soutěž postupně rozrůstala až do mezinárodního formátu. Dnes se jedná o mezinárodní soutěž, kde týmy studentů z více než 500 vysokých škol po celém světě soutěží ve vytváření, stavbě a závodění s vlastními formulovými monoposty.

2.2 Tým FS TUL Racing

Tým FS TUL Racing, sídlící na Technické Univerzitě v Liberci, aktivně se zapojuje do mezinárodní soutěže Formula Student. V současné době má kolem 40 členů, z nichž většina se věnuje bakalářským nebo magisterským programům na Fakultě strojní. Stojí za zmínku, že tým je rozmanitý, zahrnuje nejen studenty ze strojního odvětví, ale také členy z Fakulty mechatroniky a Ekonomické fakulty. Účastí v tomto projektu získávají studenti nové znalosti a praktické dovednosti, které nejenže zahrnují oblasti konstrukce a výroby formule, ale také testování a aktivní účast na závodních událostech.



Obrázek 1: Tým

2.3 Soutěž

Týmy ze všech koutů světa se vzájemně utkávají v náročných disciplínách, které kombinují statické i dynamické výzvy. Mezi statické disciplíny patří Design Event, Cost Event a Business Presentation, kde týmy musí předvést svou schopnost plánování, návrhu a strategického myšlení. Mezi dynamické disciplíny, mezi které patří Acceleration, Skidpad, Autocross a Endurance, kde týmy k soutěži se svými monoposty.

2.3.1 Statické disciplíny

Ve statických disciplínách studenti prezentují designu, nákladové analýzy a obchodního plánu.

Design Event: V disciplíně Construction Event studenti prezentují návrh a konstrukci svého monopostu. Musí detailně vysvětlit rozhodnutí, která učinili ohledně konstrukce, použitých materiálů a aerodynamiky. Hodnotí se originalita, funkčnost a inovace jejich návrhu.

Cost Event: V disciplíně Cost Event studenti prezentují analýzu nákladů. Musí prokázat, jak efektivně spravují rozpočet, jak snižují náklady na výrobu vozu a jak hospodaří s finančními prostředky.

Business Presentation: V rámci Business Presentation studenti představují svůj obchodní plán a strategii pro získání sponzorů, spolupracovníků a financování projektu. Hodnotí se schopnost týmu prezentovat a přesvědčivě prezentovat svůj plán.

2.3.2 Závod

Před tím, než je monopost připuštěn na závodní trať, musí projít technickými přejímkami, aby bylo zajištěno, že vozidlo splňuje všechna pravidla a bezpečnostní normy soutěže. Tyto přejímky jsou důležité pro zajištění bezpečnosti a rovných podmínek pro všechny účastníky soutěže.

2.3.2.1 Technické přejímky:

Během technických přejímek tým musí prokázat, že vozidlo splňuje pravidla SEA. Pokud komisaři zjistí, že vozidlo nesplňuje daná pravidla, je tým povinen tento nedostatek opravit, jinak se týmmnemůže účastnit dynamických disciplín. Technické přejímky se skládají ze 4 kontrol.

1. **Technická kontrola** zajišťuje, zda vozidlo plně odpovídá pravidlům soutěže. Provést se prověřuje vybavení jezdce, pneumatiky a přítomnost hasičských přístrojů. Také se testuje, zda jsou všichni řidiči schopni opustit vozidlo do pěti sekund. Cílem této kontroly je zabezpečit bezpečnost, soulad s pravidly a splnění požadavků před účastí v soutěžních dynamických disciplínách.

2. **Tilt test** (test náklonu) provádíme na vozidle, ve kterém sedí řidič, a to v náklonech 45° a 60°. Během těchto náklonů nesmí dojít k úniku žádných kapaliny.

3. **Brake test**: Během provádění brake testu je nezbytné zajistit, že se současně zablokují všechna čtyři kola vozidla při brzdění. Tímto testem se ověřuje, zda brzdový systém funguje správně a je schopný zajistit rovnoměrné a efektivní brzdění na všech kolech vozidla.

4. **Noise test** zahrnuje umístění mikrofonu ve vzdálenosti 0.5 m od výfuku a pod úhlem 45° od osy vozidla. Během testu jsou měřeny maximální hodnoty hluku, které jsou omezeny na 103 dB při volnoběhu a 110 dB v otáčkách, které jsou dopočítány na základě střední pístové rychlosti, která je 15.25 m/s.

Pro náš motor Suzuki GSX-R 600 se zdvihem 42mm jsou dopočítané otáčky 1092.857 ot/min při kterých hodnota hluku nesmí přesáhnout 110 dB.

2.3.2.1 Dynamické disciplíny

Po úspěšném zvládnutí všech čtyř technických přejímek může monopost soutěžit v dynamických disciplínách, které se dělí do čtyř kategorií: Acceleration, Skidpad, Autocross a Endurance.

Acceleration: Týmy soutěží o nejrychlejší zrychlení svých vozidel na vzdálenost 75 metrů. Cílem je dosáhnout co nejkratšího času potřebného k dosažení této vzdálenosti. V této disciplíně hraje velkou roli výkon motoru a schopnost přenést tento výkon na povrch tratě.

Skidpad: Skidpad je jednou z disciplín, která testuje jízdní vlastnosti vozidla při průjezdu kruhovou tratí s malým poloměrem. Cílem této disciplíny je posoudit schopnost vozidla udržet kontrolu při jízdě ve vysokých bočních zrychleních.

Autocross: Týmy se utkávají na uzavřené trati s různými prvky, jako jsou ostré zatáčky. Trať autokrosu je obvykle relativně krátká, kolem 1 km, a je navržena tak, aby testovala agilitu a ovladatelnost vozidla. Během autokrosu jsou udělovány penalizace za vyjetí mimo trať nebo sražení kuželů.

Cílem je projet trať co nejrychleji a s co nejmenším počtem penalizací, protože tento závod pak slouží jako kvalifikace do hlavního závodu Endurance.

Endurance: Endurance je královskou disciplínou, ve které se testuje celkový technický stav vozidla a jeho spolehlivost na delší vzdálenosti. Tento závod se koná na trati o délce kolem 22 kilometrů. Trať není tak technicky náročná jako u autokrosu, ale bývá dosti rychlá.

V závodě endurance se opět hodnotí rychlost projetí celé trati, počet penalizací a spotřeba paliva. Je to náročná disciplína, která klade důraz na odolnost a spolehlivost vozidla, jelikož musí zvládnout dlouhodobé zatížení při vyšších rychlostech. Výsledek závodu endurance má zásadní vliv na celkové umístění týmu v soutěži Formula Student.



Obrázek 2: Endurance map [5]

3 Vstřikování paliva do motoru

Vstřikování paliva je jedním ze základních kamenů správného fungování spalovacího motoru. Jeho úkolem je zajistit optimální poměr směsi paliva se vzduch pro dosažení optimálního spalování nám právě zajišťuje vstřikování paliva, které se vyvíjí již řadu let.

3.1 Palivo pro zážehové motory

Pro správnou funkci zážehových motorů jsou využívány různé druhy paliva, každé s vlastními unikátními vlastnostmi a omezeními. Tyto paliva jsou zásadní pro optimální provoz zážehových motorů. Mezi nejběžnější paliva patří automobilový benzín, stlačený zemní plyn (CNG) a zkapalný ropný plyn (LPG). Každé z těchto paliv splňuje určité požadavky, které jsou klíčové pro bezproblémový chod motorů.

Mezi kritéria, která jsou kladena na paliva, patří vysoká výhřevnost, která udává množství energie uvolněné při spalování na kilogram paliva, poté poměr vzduchu a paliva, který udává kolik vzduchu je zapotřebí pro úplné spálení jednoho kilogramu paliva, minimální zdravotní rizika, stabilita chemické struktury paliva by neměla být příliš reaktivní nebo nestabilní, což by mohlo vést k nebezpečným situacím, jako jsou exploze nebo požáry.

Poměr vzduchu a paliva ve spalovacím motoru má zásadní vliv na efektivitu hoření právě kvůli tomu se zavedla jednotka Lambda, která umožňuje jednoduché měření a řízení tohoto poměru.

Lambda (λ) označuje poměr vzduchu a paliva ve spalovací směsi a je definována jako:

$$\lambda = M_v / (M_p \cdot LVT) \quad (1)$$

M_v je hmotnost vzduchu

M_p je hmotnost paliva

LVT je lambdový objemový průtok

Lambdový objemový průtok udává množství směsi vzduchu a paliva, která je dodávána do motoru za jednotku času. Tento průtok se měří v objemu za časovou jednotku nejčastěji v litrech za sekundu (l/s).

Hmotnost vzduchu závisí na objemu vzduchu a hustoty vzduchu. Hustota vzduchu je veličina, která vyjadřuje hmotnost vzduchu v závislosti na objem a uvádí se v kilogramech na metr krychlový (kg/m^3).

Hmotnost vzduchu (M_v) lze spočítat jako součin objemu vzduchu (V) a hustoty vzduchu (ρ):

$$M_v = V_v \cdot \rho_v \quad (2)$$

V_v je objem vzduchu

ρ_v je hustota vzduchu

Hmotnost paliva závisí na objemu a hustotě. Každý typ paliva má svoji specifickou hustotu. Pro výpočet hmotnosti paliva (m_p) můžeme použít následující vzorec:

$$M_p = V_p \cdot \rho_p \quad (3)$$

V_p je objem paliva

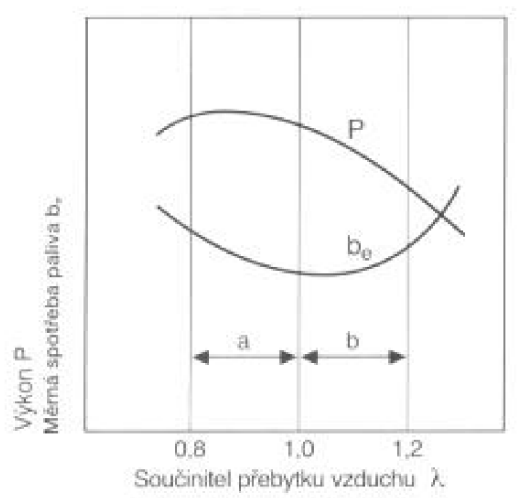
ρ_p je hustota paliva.

Poměr paliva a vzduchu rozdělujeme do tří skupiny směsi : chudá, bohatá a stechiometrická.

3.1.1 Chudá směs $\lambda > 1$

Chudá směs je charakterizována tím, že je přiváděno více vzduchu než je potřeba, což způsobuje nižší teplotu spalování a nižší výkon motoru. Chudá směs je využívána ke snižování emisí škodlivých látek, zejména oxidů dusíku (NO_x) a oxidu

uhelnatého (CO), které jsou znečišťující látky přítomné ve výfuku spalovacích motorů. V grafu je znázorněna chudá směs oblastí b viz Obrázek 3.



Obrázek 3: Graf bohatosti směsi [1]

Zvýšená koncentrace kyslíku ve spalovací směsi vede k efektivnější oxidaci uhlíku, což přispívá k dokonalejšímu spálení paliva. Tento proces významně redukuje produkci oxidu dusíku (NO_x), který představuje jednu z primárních znečišťujících látek ve výfukových plynech motorových vozidel.

Při použití chudé směsi, kde je poměr paliva kyslíku nižší než je optimální, dochází k vstřikování menšího množství paliva ve vztahu k objemu kyslíku. Díky chudé směsi lze zefektivnit využívání paliva, což se projevuje nižší produkcí oxidu dusíku a dalších znečišťujících emisí. [1]

3.1.2 Bohatá směs $\lambda < 1$

Bohatá směs je přesný opak než chudá směs je přiváděno více paliva než je potřeba k úplnému spálení s daným množstvím vzduchu. Bohatá směs zvyšuje výkon motoru, ale současně zvyšuje emise a snižuje účinnost. V grafu je znázorněna bohatá směs oblastí a viz obrázek 3.

Přívod vyššího množství paliva do spalovacího motoru umožňuje získání vyššího výkonu díky zvýšení energetického potenciálu. Bohatá směs se převážně

využívá v situacích vyžadujících zvýšení výkonu, jako je zrychlení vozidla nebo překonávání náročných stoupání. V těchto případech je důležité, aby motor disponoval dostatečným výkonem k překonání zvýšeného odporu nebo gravitačních sil.

Přestože bohatá směs může být využita k dosažení vyššího výkonu ale taky k ochraně tepelně citlivých komponent motoru. Nespálené palivo v motoru působí jako chladicí prvek, který pomáhá snižovat teplotu motorových komponentů jako jsou ventily a písty. Nicméně, tento ochladicí efekt je vykoupen za cenu nižší efektivity a vyšších emisí škodlivin. [1]

3.1.3 Stechiometrická směs

Stechiometrická směs je specifická tím že poměr vzduch a palivem je v ideálním poměru. Tento poměr se nazývá Stochiometrický. Stechiometrická směs poskytuje optimální volbu mezi výkonem a emisemi. Na obrázku 3 je stechiometrická směs znázorněna $\lambda = 1$.

Při stochiometrickém poměru je spalovací směs v motoru obsahuje přesně tolik kyslíku, kolik je potřeba pro úplné spálení všech molekul paliva. Tento poměr umožňuje, aby každá molekula paliva byla zcela využita, což vede k maximálnímu uvolnění energie obsažené v palivu.

Efektivní využití paliva nejenže zvyšuje výkon, ale také zlepšuje účinnost, což je zásadní pro běžný provoz a normální jízdní situace. V takovém stavu je motor schopen dosahovat optimálních výkonových charakteristik bez zbytečného plýtvání palivem nebo snížení efektivity.

Navíc, správné spalování paliva při stochiometrickém poměru minimalizuje emise škodlivých látek, jako jsou uhlíkový monoxid (CO), nespálené uhlovodíky (HC) a oxidy dusíku (NOx). Toto je obzvláště důležité v kontextu snižování negativního dopadu motorových vozidel na životní prostředí. Efektivní spalování znamená, že motor produkuje méně škodlivých emisí, což přispívá k čistšímu a zdravějšímu ovzduší. [1]

3.1.4 Řízení směsi paliv

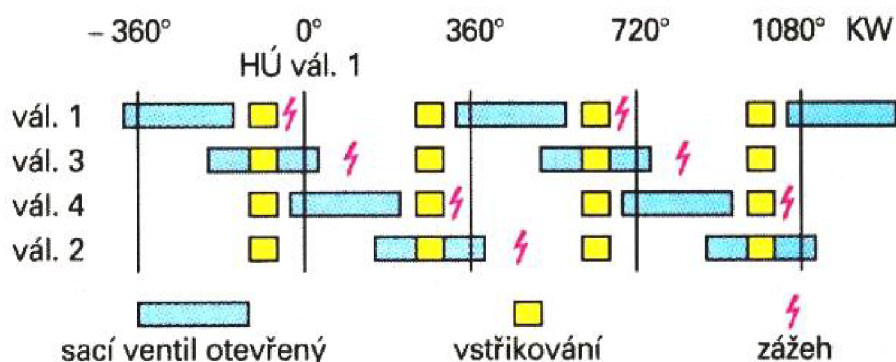
Moderní systémy vstřikování paliv do motoru jsou elektronicky řízeny jednotkou (ECU), které umožňují dynamickou kontrolu směsi paliva a vzduchu. Tyto změny jsou řízení se provádí v reálném čase na základě různých faktorů, jako jsou otáčky motoru, zatížení, teplota motoru, tlak vzduchu a mnoho dalších proměnných. Díky těmto moderním systémům řízení motoru je možné dosáhnout optimálního výkonu a emisí v různých jízdních situacích

3.2 Způsoby vstřikování paliva

Způsob jakým je palivo vstřikováno do motoru má významný vliv na emise, chod motoru a jeho výkon. Existují čtyři metody vstřikování paliva: simultánní, skupinové, sekvenční a individuální.

3.2.1 Simultánní vstřikování

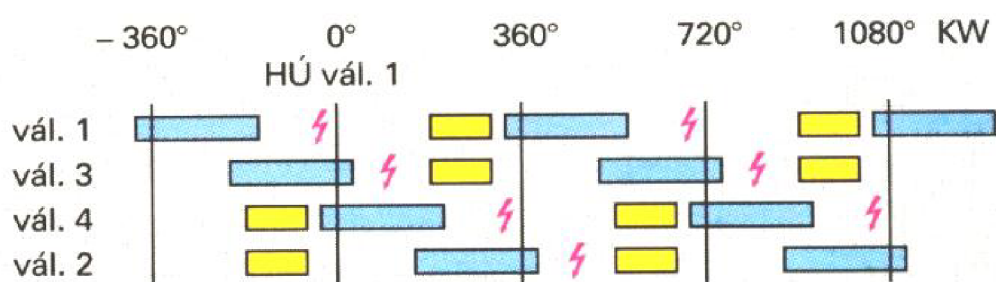
Simultánní vstřikování znamená, že všechny vstřikovací ventily jsou aktivovány ve stejném okamžiku. Tímto způsobem je k dispozici různá doba pro odpaření paliva pro každý válec. Při tomto druhu vstřikování je u některých válců palivo vstříknuto přímo do otevřeného sacího ventilu. [2]



Obrázek 4: Simultánní vstřikování paliva [2]

3.2.2 Skupinové vstřikování

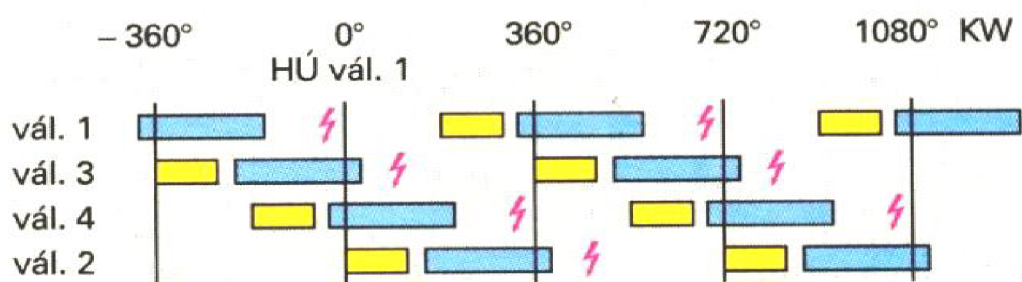
Při skupinovém vstřikování jsou vstřikovací ventily rozděleny do dvou skupin. Každá skupina vstřikuje celé množství paliva střídavě po jedné otáčce klikového hřídele. Toto uspořádání umožňuje volit okamžik vstřiku v závislosti na pracovním režimu motoru a zabraňuje nežádoucímu vstřikování do otevřeného sacího ventilu v širokém rozsahu charakteristiky. Nicméně, i při tomto vstřikování je doba, která je k dispozici pro odpaření paliva, pro jednotlivé válce odlišná. To je způsobeno rozdílnými podmínkami v jednotlivých válcích, což může ovlivnit proces tvorby směsi paliva a vzduchu. [2]



Obrázek 5: Skupinové vstřikování paliva [2]

3.2.3 Sekvenční vstřikování

Palivo je vstřikováno individuálně do každého válce. Vstřikovací ventily jsou aktivovány postupně podle pořadí zapalování. Doba trvání vstřiku a jeho počátek, vztahené k horní úvrati daného válce, jsou pro všechny válce stejné. Počátek vstřiku je volně programovatelný a může být přizpůsoben provozním režimům motoru. Tato flexibilita umožňuje optimalizaci spalování a dosažení lepších výkonových parametrů při různých podmínkách provozu. [2]



Obrázek 6: Sekvenční vstřikování paliva [2]

3.2.4 Individuální vstřikování

Tento druh vstřikování poskytuje největší flexibilitu. Oproti sekvenčnímu vstřikování má výhodu, že umožňuje individuálně ovlivňovat dobu vstřiku pro každý válec. Díky této možnosti lze vyrovnávat nepravidelnosti, například při plnění válců. To umožňuje dosáhnout optimálního spalování a lepších výkonových parametrů motoru ve všech situacích. [2]

3.3 Vstřikovací systémy

Vstřikovací systémy rozdělujeme do 3 kategorií:

- Nepřímé vstřikování, kdy je palivo vstřikováno do sací části motoru, kde probíhá míchání paliva se vzduchem.
- Přímé vstřikování paliva, kdy je palivo vstřikováno přímo do spalovacího prostoru, kde míchání paliva probíhá až ve spalovací komoře.
- Kombinované vstřikování využívá jak výhody přímého tak i nepřímého systému vstřikování

3.4 Nepřímé vstřikování

Princip nepřímého vstřikování paliva spočívá v tom, že palivo je vstřikováno do sací části motoru. V sací části je palivo mícháno se vzduchem, což vytváří směs paliva a vzduchu. Tato směs je poté zažehnuta ve válci. Nepřímé vstřikování benzínu můžeme rozdělit do dvou skupin a to na karburátor, který využívá Bernulliho principu a na vstřikování paliva pomocí vstřikovačů.

3.4.1 Karburátor

Karburátory se již dnes používají výhradně do menších motorů jako například do sekaček, pil, křovinořezů ,ale ještě před 30 lety bychom je našli v automobilév průmyslu. Karburátory byly vytlačeny elektronickým vstřikováním paliva, které je

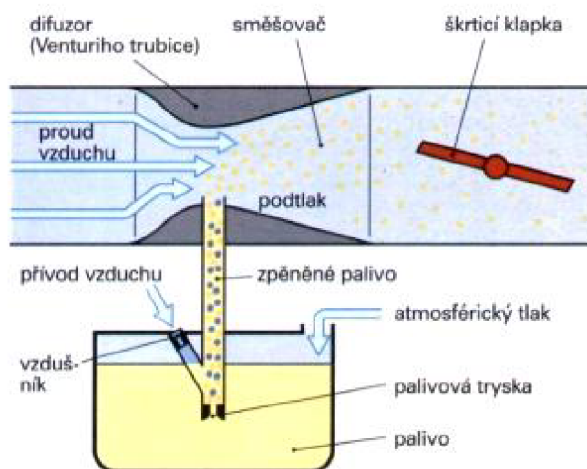
přesnější, lépe zvládá dávkování paliva a vstřikovač lze teoreticky umístit na jakékoliv místo například přímo do spalovacího prostoru, kde toto umístění nese s sebou řadu výhod.

3.4.1.1 Princip fungování karburátoru

Princip funkce karburátoru závisí na rychlosti proudícího vzduchu, statického a dynamického tlaku, protože karburátor využívá Bernulliho principu, takže čím se zvýší rychlost vzduchu v sání tím se sníží statický tlak a zároveň se zvyšuje dynamický tlak.

Při zvyšující se pístové rychlosti se zvyšuje rychlost proudícího vzduchu, který prochází difuzorem neboli Venturiho trubicí, což je úsek s menším průměrem v sací komoře. V tomto zúženém místě dochází ke zvýšení rychlosti proudícího vzduchu a ke snížení statického tlaku. Následně za difuzorem vzniká zóna s nižším tlakem což vytváří podtlak neboli depresi a tento podtlak se následně využívá ke správnému nasátí paliva. [18]

Aby karburátor mohl připravovat kvalitní směs paliva pro všechny otáčky a režimy, je vybaven dalšími pomocnými systémy. Patří sem šoupátko, jehla, tryska a plovák. Tyto komponenty spolupracují a umožňují karburátoru optimalizovat směs paliva pro široké spektrum otáček. [17]



Obrázek 7: Princip karburátoru [1]

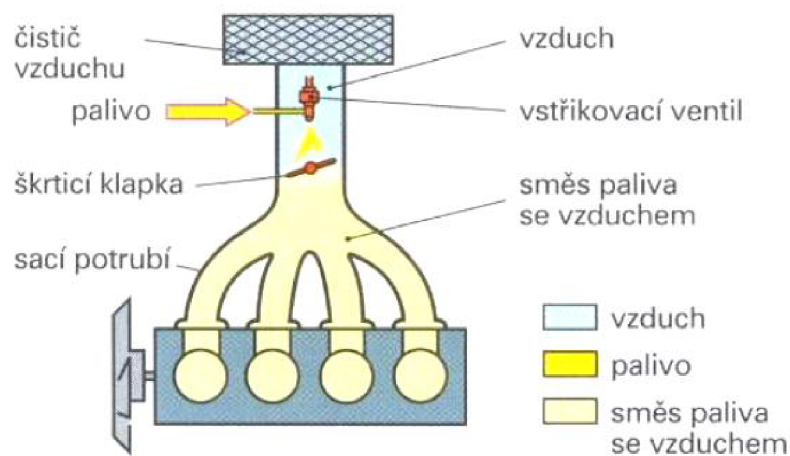
3.4.2 Vstřikování paliva

Vstřikovací systémy zajišťují dodávku paliva do motoru prostřednictvím vstřikovačů a dalších nezbytných komponentů. Vstřikovače, které jsou základními prvky vstřikovacího systému, fungují na principu přesného dávkování paliva pod vyšším tlakem. Palivo je rozprášeno na jemné kapky, což umožňuje optimální smíšení s nasávaným vzduchem a zlepšuje účinnost spalování. Jedna z hlavních výhod vstřikování paliva je, že lze dynamicky měnit poměr směsi v závislosti na zátěži motoru, teploty motoru a mnohem více dalších faktorů.

Nepřímé vstřikování paliva lze rozdělit do dvou skupin a to jednobodové vstřikování (SPI) a na vícebodové vstřikování (MPI).

3.4.2.1 Jednobodové vstřikování SPI

Vstřikovací systém SPI (Single Point Injection) všechny sací komory jsou vybaveny pouze jedním vstřikovačem, který je umístěn před škrťací klapkou stejně jako tomu je u karburátoru. Tato metoda vstřikování má jednu velkou změnu oproti karburátoru a to že může měnit poměr vstřikování paliva nezávisle na rychlosti vzduchu v sacích komorách. Tím pádem můžeme ovlivňovat výslednou směs jestli bude bohatá, stechiometrická nebo chudá. [21]



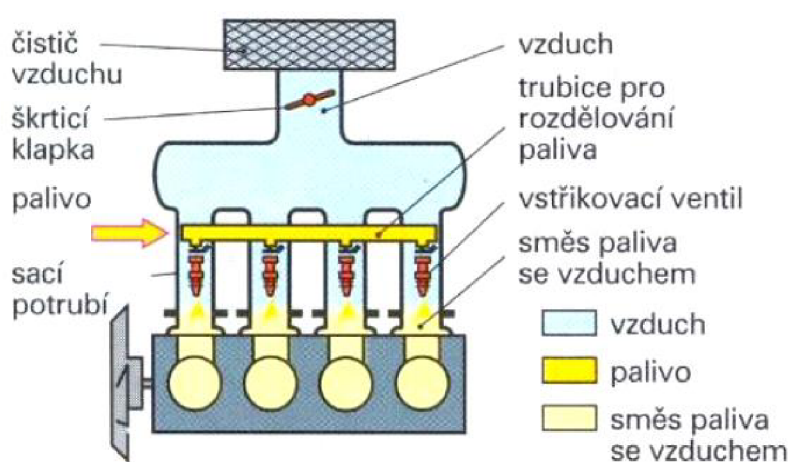
Obrázek 8: Systém vstřikování SPI [2]

3.4.2.2 Vícebodové vstřikování MPI

Vstřikovací systém MPI (Multi Point Injection) v každé sací komoře je jeden vstřikovačem. Každý vstřikovač je ovládán samostatně, což umožňuje přesné dávkování množství paliva, které je vstřikováno do jednotlivých sacích komor.

Každý vstřikovač může být přesně řízený a synchronizovaný s mapováním motoru, což zajišťuje správnou směs paliva a vzduchu v každé sací komoře.

Individuální ovládání vstřikovačů umožňuje přesnější dodávku paliva pro každý válec, což přispívá ke zvýšení efektivity spalování a optimalizaci výkonu motoru.



Obrázek 9: Systém vstřikování MPI [2]

3.4.3 Výhody a nevýhody nepřímého vstřikování paliva oproti karburátoru

Dodávání paliva do motoru prostřednictvím karburátoru je starší a jednodušší technologie, která byla postupně nahrazena modernějším systémem jako je vstřikování paliva.

Jednou z výhod vstřikování paliva je vyšší využití potenciálu paliva a to díky přesnějšímu dávkování a hlavně kvůli jeho rozprášení. S vyšší efektivitou paliva se i pojí nižší emise a vyšší výkon především díky lepší kontrole nad celým systémem vstřikování.

Další velkou výhodou vstřikování oproti karburátoru je jeho vyšší spolehlivost v různých jízdních podmínkách především ve změně nadmořské výšky, kde se mění atmosférický tlak nebo také při teplotních změnách, kde se mění hustota vzduchu.

Při deceleraci, neboli brždění motorem dochází u karburátorových motorů k vysoušení sacího potrubí. Tento jev u motorů se vstřikováním nenajdeme.

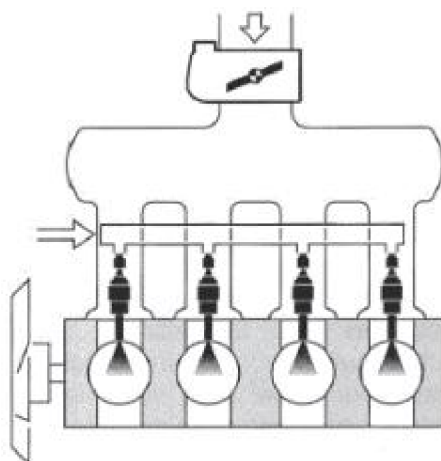
Další výhodou vstřikování oproti karburátoru je startování motoru, vzhledem k možnosti nastavit dávku paliva, která není závislá na rychlosti proudícího vzduchu difuzorem.

Vstřikování paliva má rovněž i nevýhody oproti karburátoru jako jsou vyšší počáteční náklady, kde je zapotřebí více komponentů jako jsou například různá čidla, řídicí jednotka, svazek atd. Se složitějším systémem se přímo úměrně váže i složitější servis, například s elektronikou, která se u karburátoru nevyskytuje.

Ačkoliv vstřikování paliva může být náročnější na údržbu a zpočátku dražší technologie tak i přesto moderní auta používají vstřikování hlavně kvůli nižším emisím a vyšší efektivitě paliva.

3.5 Přímé vstřikování paliva do motoru

GDI (Gasoline Direct Injection) přímé vstřikování paliva do motoru je jedna z modernějších technologií vstřikování paliva, kterou najdeme ve většině moderních motorů jak naftových tak i benzínových. U přímého vstřikování je palivo vstřikováno o vysokém tlaku a přímo do spalovacího prostoru.



Obrázek 10: Systém vstřikování GDI [3]

Tato technologie přináší několik výhod a nevýhod oproti nepřímému vstřikování paliva. U přímého vstřikování paliva je palivo vstřikováno přímo do spalovacího prostoru a to umožňuje lepší kontrolu nad celým procesem spalování. Přímé vstřikování paliva umožňuje lepší rozprášení paliva do spalovacího prostoru díky vyšším vstřikovacím tlakům paliva. To vede k lepší homogenitě spalovací směsi a tím k efektivnějšímu spalovacímu procesu. Vyšší efektivita paliva vede k vyššímu tlaku ve spalovacím prostoru, což způsobuje zvýšení síly na píst v motoru a tím dosažení vyššího výkonu motoru.

Přímé vstřikování paliva má řadu výhod ale i řadu nevýhod jako jsou například vyšší náklady na celý vstřikovací systém, vyšší tepelné zatížení motoru než je tomu u nepřímého vstřikování, karbonizace především na sacích ventilech a v neposlední řadě nároky na zvýšenou kvalitu paliva.

Systém přímého vstřikování paliva vyžaduje kvalitnější a odolnější materiály, které jsou schopné odolat vyšším tlakům a teplotám, než je tomu u staršího nepřímého vstřikování.

Vstřikovače paliva u přímého vstřikování musí být navrženy tak, aby dokázaly přesně a rychle vstřikovat palivo do spalovacího prostoru při velmi vysokých tlacích které se pohybují v rozmezí 5 – 10 MPa. To vyžaduje výrobu vstřikovačů s vysokou

přesností a z použití kvalitních materiálů, které jsou odolné vysokým tlakům a tepelných zatížení. [20]

Při vstřikování paliva přímo do spalovacího prostoru dochází k tomu, že palivo přichází do přímého kontaktu s teplými stěnami válců a hlavy válců. To může způsobit zvýšení teplot ve spalovacím prostoru a vyšší tepelné zatížení motoru.

Přímé vstřikování paliva vytváří vysokotlaké palivové mlhoviny, při kterých dochází k rychlému zapalování, což vede k intenzivnějším tlakovým rázům a tepelným šokům v motoru. Vyšší tepelné zatížení může způsobit zvýšené opotřebení ventilů a pístů, což může ovlivnit životnost těchto důležitých motorových komponentů.

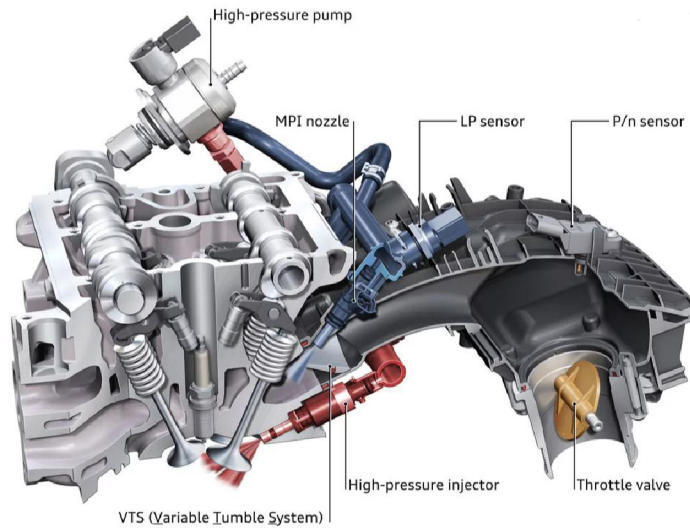
Problémy s usazeninami v motoru při přímém vstřikování paliva, zejména na sacích ventilech, jsou jednou z nevýhod této technologie. Usazování nečistot je proces, kdy se na površích ventilů a v sacích kanálech se usazují uhlíkové zbytky z neúplného spalování paliva a dalších látek obsažených v palivu. Karbonizace má za následek snížení průtoku vzduchu a tím i špatné míchání paliva se vzduchem a projevuje se zvýšenými emisemi.[19]

3.6 Kombinové vstřikování paliva do motoru

Tato technologie vstřikování využívá výhod dvou různých způsobů vstřikování paliva a to přímého a nepřímého vstřikování paliva. Díky schopnosti kombinování obou typů vstřikování motor dosahuje lepší kontrolu nad celým procesem spalování, který je závislý na otáčkách motoru, zatížení, teplotě motoru, tlaku vzduchu a mnoho dalších proměných.

Přímé vstřikování paliva: U tohoto typu vstřikování je palivo vstřikováno přímo do válců motoru. Přímé vstřikování umožňuje efektivní spalování paliva a dosažení vyššího výkonu.

Nepřímé vstřikování paliva: Druhý typ vstřikování paliva probíhá do sacího potrubí, kde dochází k míchání paliva s vzduchem před vstupem do válců. Tímto způsobem lze dosáhnout lepšího míchání a ochranu komponentů motoru před karbonizací jako jsou například sací ventily.



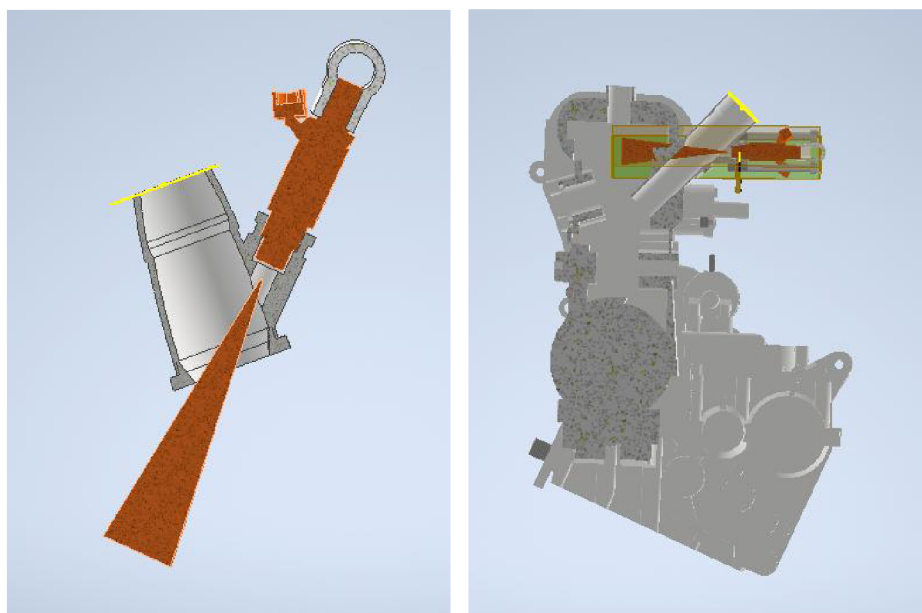
Obrázek 11: Kombinované vstřikování [9

4 Optimalizace palivového systému

Tato bakalářská práce se věnuje optimalizaci palivového systému motoru Suzuki GSX-R 600. Hlavním zaměřením bylo provedení klíčových úprav s důrazem na polohu vstřikovačů paliva s cílem eliminovat nežádoucí vstřikování paliva na stěnu sání, jak bylo původně implementováno v sériovém vstřikování. Hlavním cílem těchto modifikací je dosažení vyšší efektivity motoru a rychlejší odezvy na plynový pedál.

4.1 Předešlé provedení vstřikování paliva do motoru

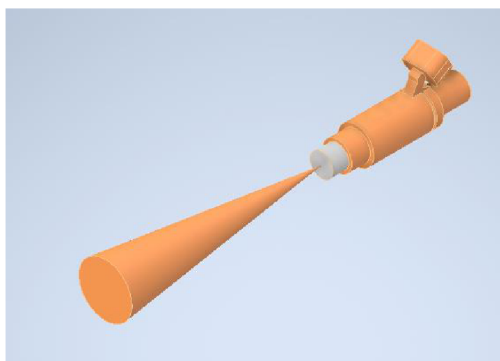
Předešlý vstřikovací systém paliva do motoru Suzuki GSX-R 600 smáčel sací stěnu. Tento systém vstřikování paliva není úplně vhodný, protože u nepřímého vstřikování je nejlepší vstřikovat palivo na nejteplejší místo v sacím kanále, kvůli homogenizaci směsi.



Obrázek 12: Původní umístění vstřikovačů

4.1.1 Vstřikovače

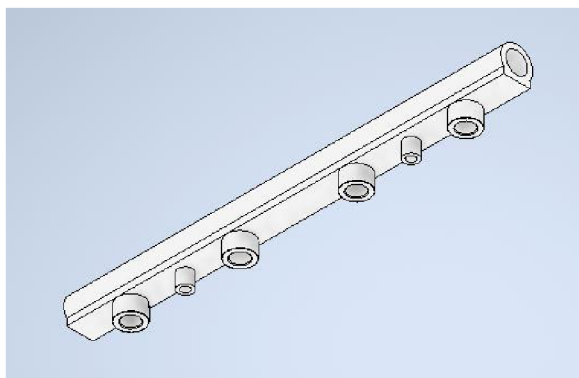
V motoru Suzuki GSX-R 600 používáme seriové vstřikovače, které plní funkci správného vstřikování paliva. Seriové vstřikovače mají úhel roztříku 20 stupňů. Úhel roztříku se týká směru, kterým je palivo vstřikováno do sací části motoru .



Obrázek 13: Vstřikovač

4.1.2 Palivová lišta

Palivová lišta má za úkol distribuovat palivo z jednotného zdroje k jednotlivým vstřikovačům, umístěným v sacím potrubí. Její funkcí je zajistit, že palivo je rovnoměrně rozděleno do každého vstřikovače pod stejným tlakem, což přispívá k rovnoměrnému rozptýlu palivové směsi. Tato palivová lišta je součástí naší vlastní konstrukce.



Obrázek 14: Palivová lišta

4.1.3 Regulátor tlaku paliva

Regulátor tlaku paliva je zařízení, jehož úkolem je udržovat konstantní tlak paliva v palivovém systému. Jeho primární funkcí je garantovat stabilitu tlaku paliva přivedeného do vstřikovačů. V monopostu je využíván tlak paliva nastavený na 3 bary.



Obrázek 15: Regulátor tlaku paliva [4]

4.1.4 Palivové čerpadlo

Hlavním úkolem palivového čerpadla je přepravit palivo z nádrže k regulátoru tlaku s dostatečným tlakem a stálým průtokem. Pro závodní vůz bylo zvoleno externí palivové čerpadlo Walbro GSL392. Při výběru čerpadla byly klíčové jeho rozměry, neboť je umístěno pod sedačkou, kde je omezený zástavbový prostor. Pro minimalizaci přenosu vibrací do rámové konstrukce je čerpadlo vybaveno antivibračním návlekm.



Obrázek 16: Palivová pumpa [10]

4.1.5 Externí palivový filtr

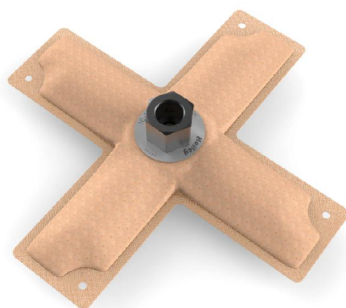
Externí palivový filtr slouží k přefiltrování paliva před jeho vstupem do čerpadla. Jeho hlavním cílem je zachytit nečistoty, které by mohly poškodit některou část palivového systému. Tím, že zadržuje nečistoty, externí palivový filtr přispívá k udržení čistoty a spolehlivosti celého palivového systému.



Obrázek 17: Externí palivový filtr [11]

4.1.6 Filtrační kříž

Filtrační kříž HydraMat od společnosti Holley řeší problémy s tradičními sacími systémy v palivových nádržích, které se objevují během ostrých zatáček, zrychlení, brzdění nebo při nízké hladině paliva. Díky využití povrchového napětí a schopnosti nasávání tekutin udržuje palivo dostupné i při pohybu v nádrži, eliminuje potřebu speciálních rezervoárů. Mimo jiné funguje jako 150 mikronový předfiltr. [7]



Obrázek 18: Filtr ve tvaru kříže [7]

4.1.7 Palivová hadice

Podle pravidel SAE (Society of Automotive Engineers) je vyžadováno, aby palivové hadice odolávaly minimální pracovní teplotě 120 stupňů Celsia. Pro zajištění bezpečnosti a spolehlivosti palivového systému bylo zvoleno použít gumové hadice s ocelovým opletem.

Gumová hadice s ocelovým opletem poskytuje vynikající odolnost vůči vyšším teplotám a tlakům. Ocelový oplet poskytuje hadici pevnost a odolnost proti deformacím, zatímco vnitřní gumová vrstva slouží jako těsnící materiál a zajišťuje pružnost a flexibilitu hadice.



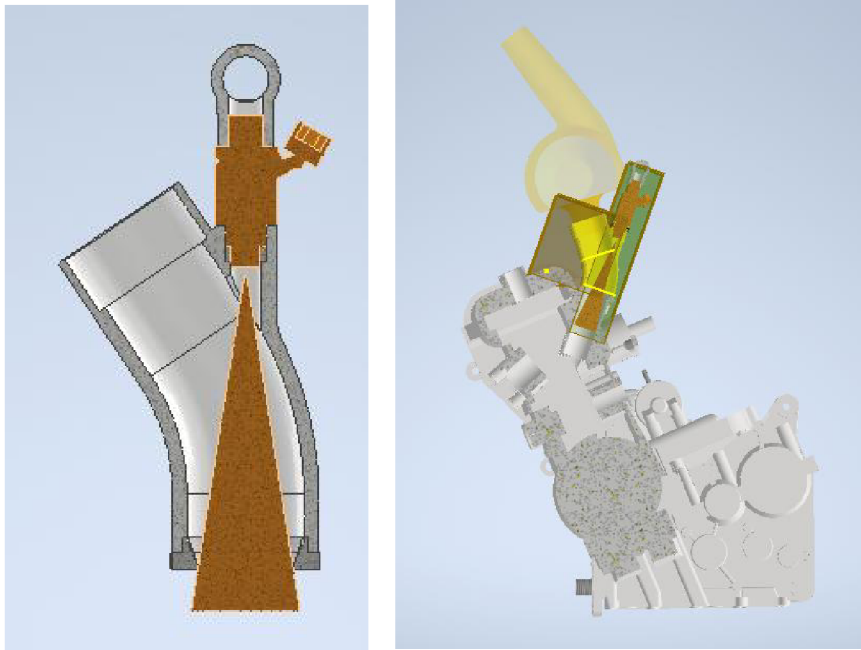
Obrázek 19: Palivová hadice [6]

4.2 Nové provedení vstřikování paliva do motoru

Změna polohy vstřikování paliva do motoru proběhla konstrukční změnou polohy vstřikovače, aby vstřikované palivo směřovalo na nejteplejší místo v sací části motoru, což jsou sací ventily. Tato změna s sebou nese příznivý vliv na homogenizaci zapalné směsi, chod motoru a menší prodlevě na plynový pedál.

Tato změna polohy vede :

1. Zlepšená efektivita spalování s tím souvisí nižší spotřeba a méně znečišťujících plynů
2. Rychlejší reakce na plynový pedál, protože se palivo rychleji odpaří a zamezí se prodlevě.
3. Lepší startování motoru.



Obrázek 20: Nové umístění vstřikovačů

4.2.1 Konstrukční provedení modulu

Konstrukční změna polohy vstřikovače byla provedena ve stylu kolena. Toto koleno bylo podrobena simulaci v programu Ansys, kde byl analyzován hydrodynamický odpor s cílem určit optimální poloměr zaoblení. Následně byl tento odpor integrován do 1D simulace, aby byla nalezena správná délka saní a vhodná velikost airboxu. Nakonec byl celý modul modelován v programu Autodesk Inventor Professional 2023.

4.3 Výroba modulu

Prvotní zvažovanou technologií výroby modulu bylo využití technologie 3D tisku s použitím tepelně odolného materiálu. Avšak po zjištění vysokých nákladů na tuto technologii bylo nutné hledat cenově efektivnější alternativu. Nakonec bylo rozhodnuto využít gravitačního odlévání do pískové formy pro výrobu modulu.

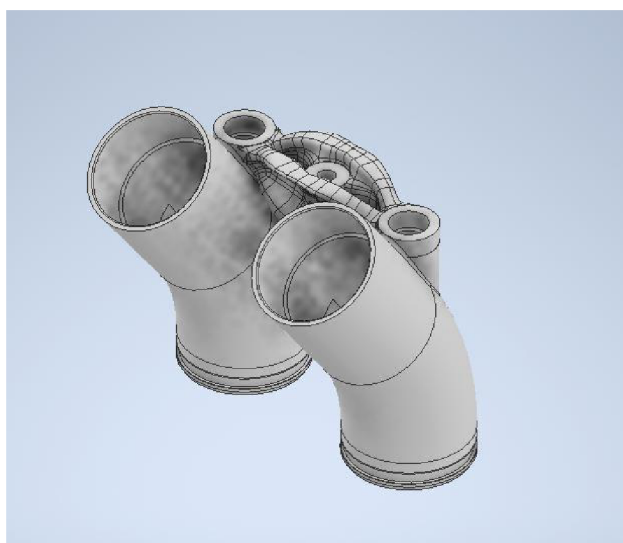
4.3.1 3D tisk

Modul byl navržen na výrobu na 3D tiskárně z materiálu Ultem 1010. Materiál Ultem 1010 je speciální inženýrský termoplastický materiál s vysokou teplotní odolností, mechanickou pevností a chemickou odolností proti agresivním látkám, kam se řadí i automobilový benzín.

Výroba pomocí 3D tisku nám zaručuje výrobu složité geometrie jako je například topologická optimalizace, která v tomto případě drží palivou lištu.

Topologická optimalizace je nástroj pro dosažení efektivní a funkční struktury modulu. Díky této optimalizaci se dosáhlo odstranění nadbytečného materiálu, což vede k lehčímu a pevnějšímu modulu. Tato metoda přispěla k celkové úspornosti materiálu a snížení hmotnosti, což má pozitivní dopad na váhu monopostu.

Po návrhu modulu z materiálu Ultem 1010 jak už bylo zmíněno byla zjištěna vysoká cena spojená s technologií a materiálem potřebným k výrobě modulu a z důvodu nákladové efektivity byla zvolena levnější technologie a to konkrétně gravitační odlévání do pískové formy.

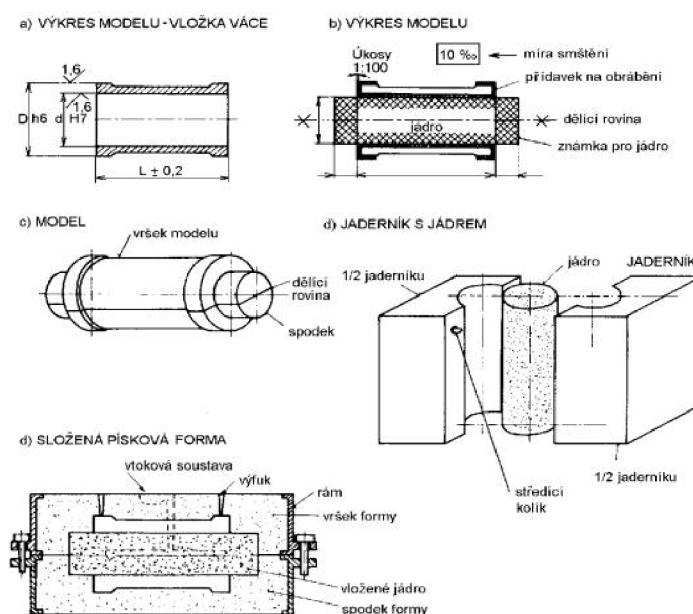


Obrázek 21: Modul navržený na 3D tisk

4.3.2 Gravitační odlévání do pískové formy

Přechod na gravitační odlévání do pískové formy byl jedním z logických kroků, když původní volba materiálu Ultem 1010 a 3D tisku byla finančně neudržitelná.

Gravitační odlévání do pískové formy je osvědčená výrobní metoda, která se využívá k výrobě jednotlivých kovových součástek. Tato metoda je vhodná pro menší až středně velké díly, které mají jednoduché tvary. Podstatou slévání je nalít roztavený materiál do předem připravené formy jejíž dutina má předem připravené rozměry. Aby bylo možné odlévat dutý modul do formy bylo nejprve zapotřebí navrhnout, vyrobit model a jáderník ze kterého se vyrobí jádro.



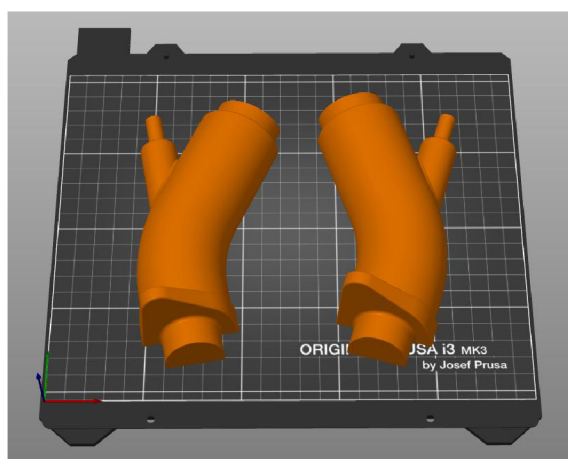
Obrázek 22: Náležitosti pro výrobu pískových forem [12]

4.3.3 Návrh a výroba modelů

Model slouží jako negativ, který se obtiskne do slévarenské formy, což je vlastně nádoba ze žáruvzdorného materiálu. Negativ svým tvarem ve slévarenské formě nám vytvoří dutinu do které se nalije roztavený materiál vtokovou soustavou.

Model prošel řadou úprav jako je například zvětšení o míru lineárního smrštění materiálu, zkosení k nálitkové hrany, zaoblení hran a dalších úkosů.

Zvětšení modelu o míru lineárního smrštění materiálu, protože během procesu slévání dochází k tepelným změnám a smršťování materiálu. To znamená, že je nutné vyrobit model s mírně zvětšenými rozměry, aby po slévání odpovídal požadovaným rozměrům a specifikacím. Modul byl následně vytisknut na 3D tiskárně z materiálu PETG a byl ručně zaformován do slévarenské formy



Obrázek 23: 3D tištěný model

4.3.4 Jádro

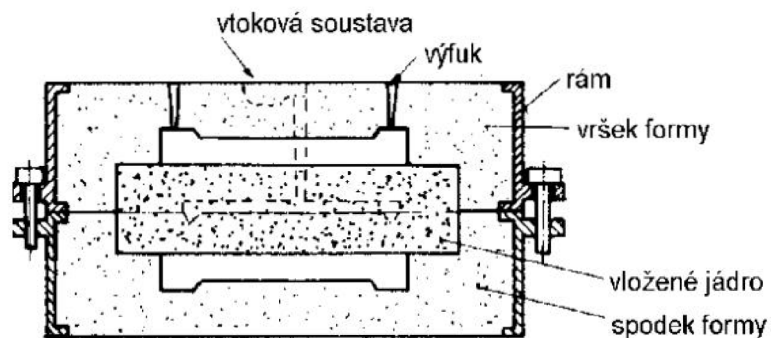
Slévarenská jádra jsou jedny z nejvíce namáhaných součástí ve slévarenské formě, protože při lítí odolávají vysokým teplotám a tlaku taveniny. Proto musí být vyrobena z materiálů, které jsou odolné vysokým teplotám a zároveň mají dostatečnou mechanickou pevnost.

Slévarenská jádra do pískových forem často bývají písková. Tyto jádra jsou tvořena speciálním pískem smíchaným s pojivem, které umožňují udržení pevné struktury jádra.

Jádra se dále dělíme na dva typy:

- Pravá jádra - jsou po odlití celá obklopena taveninou. To znamená, že vytvářejí dutinu nebo otvor uvnitř odlitku.

- Nepravá jádra – jsou jen zčásti obklopena taveninou a slouží obvykle k vytváření vnějšího tvaru odlitku. Tyto jádra jsou často používána k vytváření dutin, prodlužování nebo tvarování odlitku.

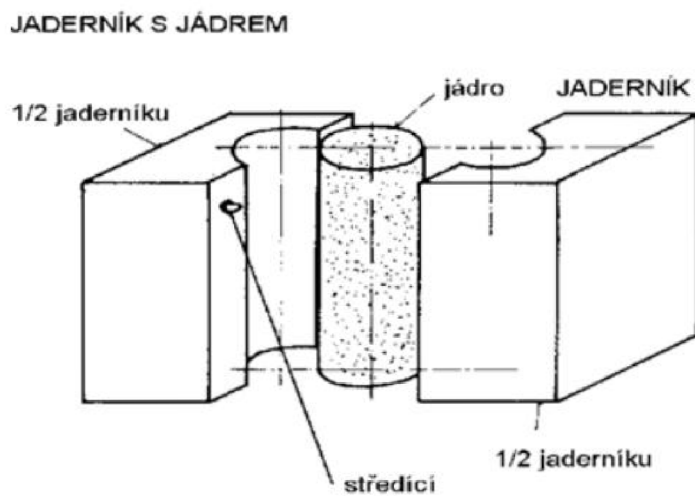


Obrázek 24: Pravé jádro ve formě [14]

4.3.5 Návrh a výroba jaderníků

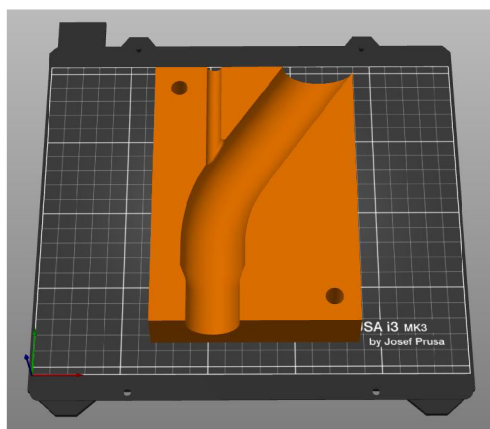
Jaderník slouží k výrobě slévarenského jádra, které se vloží do slévarenské formy a vytváří dutinu vyrobeného odlitku.

Jaderník se skládá ze dvou dílů, které se uzavřou do sebe a mezi nimi vznikne jádro.



Obrázek 25: Jaderník s jádrem [13]

Jaderníky pro ruční výrobu jader bývají ze dřeva, popřípadě z oceli. Jaderník pro výrobu modulu byl vyroben na 3D tisku z materiálu PETG, který je vhodnou náhradou dřevěného materiálu.



Obrázek 26: 3D tištěný jaderník

4.3.6 Výroba jádra

Výroba modulu technologií gravitačního odlévání bylo nejpve zapotřebí vyrobení jádra. Jádra se vyrábí v jadernících a při plnění jaderníku byla použita metoda lisování CT směsi. Kde CT směs se skládala z pojiva II generace. II generace pojiv funguje na chemickém vytvrzování pojiv.

Postup výroby jádra :

Příprava CT směsi: Byla použita CT směs z pojiv II. Generace, která se skládá z pojiva a ostřiva. Použité pojivo bylo ve formě vodního skla a ostřivo ve formě křemíku, které spolu tvoří formovací směs ve formě kašovitě hmoty. Správný poměr těchto složek je klíčový pro vytvoření vhodné formovací směsi, která připomíná kašovitou hmotu.

Lisování CT směsi: Vytvořená kašovitá hmota se lisuje do jaderníku, který má požadovaný tvar jádra. Lisování je důležité pro dosažení správné struktury a hustoty jádra.

Naplňný jaderník formovací směsí se vytvrzuje plynem CO₂. V tomto procesu dojde k chemickému vytvrzení pojiv a jádro získává pevný tvar. Po vytvrzení je jádro vyjmuta z jaderníku. Výsledné jádro je pevné a odolné.



Obrázek 27: Vyrobená pravá jádra

4.3.7 Ruční formování

Po úspěšném vyrobení jádra přichází další krok a to ruční formování, které se provádí ve formacích rámech.

Formovací rámy slouží k vytvoření pro vytvoření pevných a stabilních pískových forem. Vyrábí se většinou z šedé litiny, oceli, hliníku. Formovací rám se dělí na horní a spodní, které zajišťují skládací kolíky.

Formovací rámy se vyplňují slévárenským práškem a modelovým pískem, který se přímo pěchuje do formovacího rámu. Slévárenský prášek slouží k oddělení dělicí roviny, k vyspárování nerovností a zvyšuje žáruvzdornost směsi.

Postup při ručním formování :

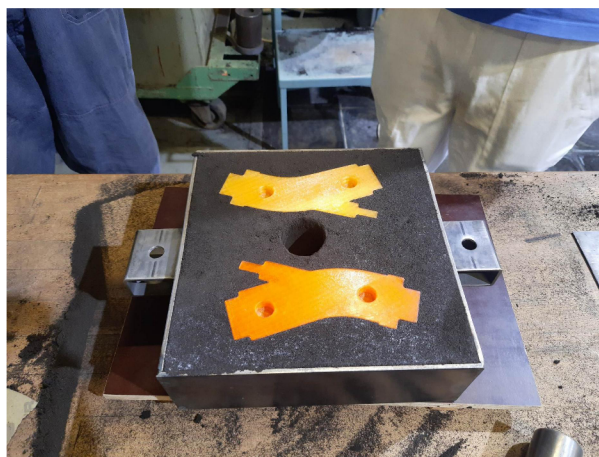
1. Položíme spodní polovinu modelu a spodní díl formovacího rámu na desku.
2. Posypeme model slévárenským práškem a poté jej zasypeme modelovým pískem, který pečlivě upěchujeme k modelu
3. Vyplníme zbytek formy modelovým pískem a upěchujeme.
4. Otočíme rám o 180°, očistíme dělicí rovinu, nasadíme druhou polovinu modelu a zajistíme vtokovou soustavu
5. Na spodní rám postavíme horní a zajistíme jej pomocí skládacích kolíků.
6. Dělicí rovinu posypeme slévačským práškem a další postup stejně jako při formováním spodního rámu.

7. Po upěchování a zarovnání formu rozložíme, vytáhneme model a upravíme nerovnosti

Vložíme jádro a opět složíme a zajistíme formovací rámy a můžeme odlévat [16]



Obrázek 28: Pravá jádra ve formě



Obrázek 29: Modely ve formě

4.3.8 Odlévaný materiál

Zvoleným materiálem pro odlévání je hliníková slitina 5754, která je jednou z hliníkových slitin známou svou vyšší pevností a dobrou slévatelností.

Tato slitina obsahuje hořčík a chrom a často se používá v průmyslových aplikacích, které vyžadují odolnost v agresivním prostředí.

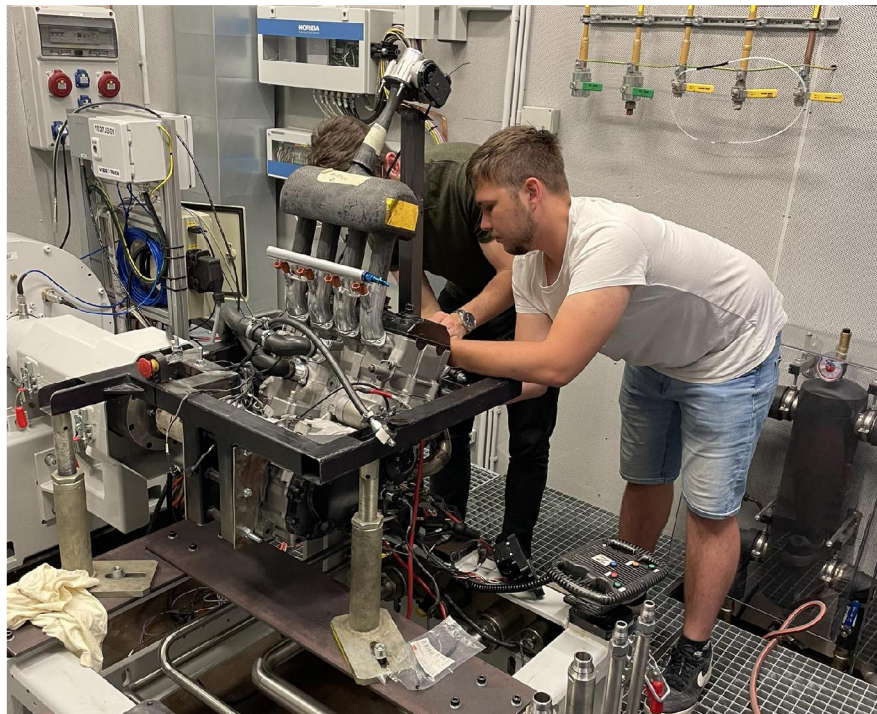
Hliník 5754 má vyšší pevnost než běžné hliníkové slitiny, což z něj činí vhodný materiál pro konstrukční účely. Jeho obsah hořčíku a chromu mu dodává vysokou odolnost proti korozním účinkům, což je velmi užitečné v prostředích s vlhkostí nebo agresivními chemikáliemi.

Díky obecné lehkosti hliníkových slitin je hliník 5754 oblíbeným materiálem v aplikacích, kde je potřeba snížit celkovou hmotnost konstrukcí. Proto je široce využíván v automobilovém průmyslu, výrobě nádrží, strojírenství a dalších oblastech, kde je nezbytná kombinace odolnosti proti korozi a vysoké pevnosti.

Díky svým vlastnostem je hliník 5754 vhodným materiálem pro mnoho aplikací, které vyžadují odolnost, pevnost a nízkou hmotnost. [15]



Obrázek 30: Vyrobený model



Obrázek 31: Model s kompozitním airboxem

5 Závěr

Tato bakalářská práce si kladla za cíl navrhnout vhodnou úpravu stávajícího palivového systému studentské formule. Výsledky dosažené během této práce přináší několik změn, které by měly výrazně přispět k lepšímu výkonu a spolehlivosti monopostu při soutěži Formula Student.

Úvodní část práce popisuje přehled soutěže Formula Student, včetně významu jednotlivých disciplín. Hodnoceny jsou jak statické disciplíny, kde je posuzován návrh, tak dynamické disciplíny u kterých je prověřena funkčnost a spolehlivost monopostu.

V teoretické části se práce zabývá problematikou tvorby směsi pro zážehové motory. Jsou popsány nejčastěji využívané způsoby - pomocí karburátoru a vstřikování.

Hlavním přínosem této práce je návrh změn v poloze vstřikovačů paliva. Původní systém, který vstříkoval palivo do sací části motoru, měl problémy se smáčením stěn sání a prodlevou reakce na plynový pedál. Navržený sací modul řeší tyto problémy vstřikováním paliva přímo na sací ventil, což je nejteplejší místo v sacím traktu motoru.

Praktická část práce se také věnuje výrobě navrženého sacího modulu s výběrem vhodné technologie výroby. Sací modul byl navržen pro výrobu 3D tiskem, po cenové kalkulaci byl modifikován pro odlití na půdě TUL. Po odlití sacího modulu byly obrobena funkční plochy a následně integrován do kompozitního airboxu.

Použitá literatura

- [1] StanclO_Navrh_vyukoveho_panelu_2010.pdf [online]. [vid. 2024-05-20]. Dostupné z : https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/36635/StanclO_Navrh_vyukoveho_panelu_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [2] *T 16 Palivové soustavy zážehových motorů se vstřikováním paliva* [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/16.html>
- [3] *zaverecna_prace.pdf* [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: https://theses.cz/id/65yl3u/zaverecna_prace.pdf
- [4] *Regulátor tlaku paliva EPMAN RACE race-shop.cz* [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://race-shop.cz/regulatory-tlaku-paliva-fpr/55075-regulator-tlaku-paliva-epman-race.html>
- [5] AMCCORMICK21. Formula Student – Suspension Design. Alex McCormick [online]. 15. listopad 2015 [vid. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://amccormick21.wordpress.com/2015/11/15/formula-student-suspension-design/>
- [6] Gumová hadice s ocelovým opletem AN6 (8,71MM) race-shop.cz [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://race-shop.cz/palivove-hadice/1374-gumova-hadice-s-ocelovym-opletem-an6-871mm.html>
- [7] P-THEMES. Holley 8. Full Throttle Speed [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://fullthrottle.com/products/holley-8-x-8-hydramat-cross>
- [8] Zážehový motor s přímým vstřikováním paliva: Jak funguje? AUTORIDE | Web o autech od autíčkářů [online]. 2. květen 2023 [vid. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://autoride.cz/zazehovy-motor-s-primym-vstrikovanim-paliva-jak-funguje>
- [9] *Jaký je rozdíl mezi přímým a nepřímým vstřikováním? A co výhody a nevýhody?* [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/video-prime-vstrikovani-vyhody-a-nevychody-20180226.html>
- [10] Externí palivové čerpadlo Walbro GSL392 race-shop.cz [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://race-shop.cz/externi-univerzalni/1337-externi-palivove-čerpadlo-walbro-gsl392.html>
- [11] Benzinfilter. ISA-Racing Motorsportzubehör [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.isa-racing.com/fahrzeugtechnik/leitungssysteme/kraftstoff-und-oelfilter/inline-filter/benzinfilter>
- [12] *Technologie I_Druhy forem a jejich charakteristika.pdf* [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=293323>
- [13] *Technologie I_Zásady konstrukce a navrhování odlitků.pdf* [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=288968>

- [14] Technologie I_Úvod, charakteristika slévárenství. pdf [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=288967>
- [15] EN AW-5754, AlMg3: Vlastnosti | NPS PROAL Ostrava [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/en-aw-5754/>
- [16] ZAV3-Slevani1_GEI.pdf [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/ZAV3-Slevani1_GEI.pdf
- [17] Spádový karburátor SOLEX 1 B3 Schématický řez - PDF Free Download [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/24098914-Spadovy-karburator-solex-1-b3-schematicky-rez.html>
- [18] KARBURÁTOR – jak to vlastně funguje [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://moto-china.cz/view.php?cisloclanku=2010090007>
- [19] si-2004-01-67-71.pdf [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-01-67-71.pdf>
- [20] Přímé vstřikování benzínu: nejkratší cestou – AutoRevue.cz [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/prime-vstrikovani-benzinu-nejkratsi-cestou_1
- [21] Elektronická učebnice - ELUC [online]. [vid. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1464>

Seznam příloh

Příloha 1: Výkres pravého boku jaderníku

Příloha 2: Výkres levého boku jaderníku

Příloha 3: Výkres pravého boku modulu

Příloha 4: Výkres levého boku modulu