



MODUL VNĚJŠÍ PŘÍPRAVY PALIVOVÉ SMĚSI ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: **Bc. Tomáš Frieda**
Vedoucí práce: prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

Fuel external preparation mixture module of spark ignition engines

Master thesis

Study programme: N2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2302T010 – Machine and Equipment Design
Author: **Bc. Tomáš Frieda**
Supervisor: prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.





Zadání diplomové práce

MODUL VNĚJŠÍ PŘÍPRAVY PALIVOVÉ SMĚSI ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

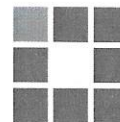
Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Frieda**
Osobní číslo: S17000261
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Konstrukce strojů a zařízení
Zadávající katedra: Katedra vozidel a motorů
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

Konstrukce a výpočty experimentálního modulu vnější přípravy palivové směsi s variabilním průběhem proudění a optimalizace polohy vstřikovače.

1. Rešerše současného stavu problematiky vstřikování paliva pro efektivní přípravu směsi před vstupem do válce zážehových motorů zaměřená na systémy MPI (Multi-Point Injection) a VFI (Vaporized Fuel Injection).
2. Konstrukce experimentálního modulu vícebodového vstřikování paliva před sací ventily umožňujícího měnit podmínky pro dokonalé odpaření a smíšení paliva se vzduchem, jako jsou: poloha a počet injektorů, směrová orientace výstřiku, tepelná příprava paliva, průběh proudění vzduchu k ventilům apod. Modul bude vybaven měřicími místy pro měření parametrů paliva a vzduchu, přístupy pro nechlazený endoskop k vizualizaci.
3. Termodynamické výpočty odpařování paliva a směšování se vzduchem.
4. Cílem je konstrukce modulu, který bude po zabudování na zážehový MPI motor Škoda-Auto (mezi sací potrubí a hlavu válce) použitelný pro výzkum podmínek pro optimální přípravu palivové směsi. Předpokládá se částečné využití výsledků práce ve výzkumných projektech katedry vozidel a motorů TUL ve spolupráci se Škoda-Auto.

Rozsah grafických prací: výkresová dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 50 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

- [1] ČECH, Karel: *Vizualizace vstřikování paliva do sacího potrubí pro výzkum zážehových motorů*, Bakalářská práce, TUL 2016.
- [2] SCHOLZ, Celestýn a Aleš DITTRICH: *Vstřikování paliva do sacího kanálu motoru při nestacionárních režimech*. XLVIII. International scientific conference of Czech and Slovak universities. Departments and institutions dealing with the research of combustion engines, TU of Liberec, 2017. Klášter Hradiště nad Jizerou, ISBN 978-80-7494-354-6.
- [3] STONE, Richard: *Introduction to Internal Combustion Engines*. Warrendale: SAE International, 1992. ISBN 0-7680-0495-0.
- [4] RICARDO, Pimenta: *Fuel injection systems (gasoline)*
PI_publicace/SIAUT_Fuel_Injection_Systems-Gasoline.pdf.


Vedoucí práce: prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.
Katedra vozidel a motorů

Datum zadání práce: 11. února 2019

Předpokládaný termín odevzdání: 11. května 2020


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Robert Voženílek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci 11. února 2019

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

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

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

3. 5. 2019

Bc. Tomáš Frieda

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kdo mi byli nápomocni při psaní diplomové práce. Děkuji panu profesoru Ing. Celestýnu Scholzovi, Ph. D. za odborné vedení, cenné připomínky a čas, který mi věnoval při konzultacích. Děkuji svým rodičům a blízkým za pomoc a trpělivost, kterou mi prokázali v průběhu celé doby studia.

Anotace

V rešeršní části diplomové práce byly popsány v současné době využívané systémy pro vnější přípravu palivové směsi se zaměřením na systémy vícebodového vstřikování a systémy vstřikování odpařeného paliva. Praktická část práce se zabývá návrhem palivového modulu pro umístění polohovatelných vstřikovacích ventilů, změnu směrové orientace výstřiku a měření parametrů palivové směsi. V práci jsou také řešeny termodynamické výpočty energie směsi v závislosti na přehřátí paliva.

Klíčová slova

vstřikování paliva, systém vícebodového vstřikování, systém vstřikování již odpařeného paliva, vnější tvorba směsi, palivový modul, termodynamika tvorby směsi

Annotation

In the research part of the thesis, the currently used systems for the external preparation of the fuel mixture with the focus on multi-point injection systems and evaporative fuel injection systems have been described. The practical part of the thesis deals with the design of the fuel module for positioning injection valves, change of directional orientation of the spray and measurement of fuel mixture parameters. The work also deals with thermodynamic calculations of the energy of the mixture depending on the preheating of the fuel.

Key Words

fuel injection, multi-point injection system, vaporized fuel injection system, external compounding, fuel module, thermodynamics of compound formation

Obsah

Seznam obrázků.....	8
Seznam zkratk a symbolů	10
Úvod.....	15
1 Vnější tvorba palivové směsi zážehových motorů	17
1.1 Palivo pro zážehové motory	17
1.2 Automobilový benzín	18
1.3 Palivová směs	19
1.4 Vícebodové vstřikování	20
1.4.1 Způsoby vstřikování paliva.....	22
1.4.2 Části vícebodového vstřikování.....	23
1.5 Dynamika palivového filmu	29
1.6 Tvorba směsi VFIS (Vaporized Fuel Injection System).....	30
1.7 Zobrazovací metody	36
2 Termodynamické výpočty odpařování paliva a směřování se vzduchem	38
2.1 Vypařování.....	38
2.2 Rychlost vypařování	38
2.3 Vypařování paliva.....	39
2.4 Energie palivové směsi	41
3 Konstrukce experimentálního modulu vícebodového vstřikování paliva.....	43
3.1 Původní provedení	43
3.2 Nové řešení umístění více vstřikovačů	47
3.3 Optimální řešení dvou vstřikovačů	49
3.4 Konstrukce palivového modulu	50
3.4.1 Těleso palivového modulu.....	51
3.4.2 Excentrické vložky	53

3.4.3 Přívod paliva	53
3.4.4 Umístění endoskopů	53
3.4.5 Celková sestava hlavy motoru, modulu uchycení vstřikovačů a produkčního sacího modulu	55
3.4.6 Použití jiných vstřikovačů	57
4 Závěr	61
5 Použitá literatura	63
6 Seznam příloh	65

Seznam obrázků

Obrázek 1: Destilační křivka automobilového benzínu [2].	18
Obrázek 2: Schéma vícebodové vstřikování K-Jetronic [7].	21
Obrázek 3: Schéma palivového systému [8].	22
Obrázek 4: Časování benzínového motoru a) paralelní, b) skupinové, c) sekvenční [8].	22
Obrázek 5: Odvětrávání palivové nádrže [10].	25
Obrázek 6: Řez palivovou nádrží s palivovým čerpadlem instalovaným uvnitř [8].	26
Obrázek 7: Regulátor tlaku paliva [11].	26
Obrázek 8: Řez vstřikovačem.	28
Obrázek 9: Umístění vstřikovače do sacího potrubí (vlevo) nebo sacího kanálu (vpravo) [8].	29
Obrázek 10: Závislost emise nespálených uhlovodíků na teplotě sacího potrubí [13].	30
Obrázek 11: Zjednodušené schéma systému VFI [13].	31
Obrázek 12: Detailní schéma VFI systému [15].	32
Obrázek 13: Schéma zapojení tepelného výměníku do systému [15].	34
Obrázek 14: Detailní schéma tepelného výměníku [16].	35
Obrázek 15: Schéma motoru s průhledným dnem pístu [17].	36
Obrázek 16: Chlazený a nechlazený endoskop [17].	37
Obrázek 17: Schéma zapojení endoskopu firmy AVL vision scope [18].	38
Obrázek 18: Výhřevnosti kapalných a plynných paliv [21].	42
Obrázek 19: Pohled na původní sestavu motoru 1.6 MPI-řez v ose sacího ventilu [vlastní tvorba].	43
Obrázek 20: Popis úhlů vstřikovače pro motory MPI [vlastní tvorba].	44
Obrázek 21: Hlava motoru 1,6 MPI se zobrazenými vstřiky paliva [vlastní tvorba].	45
Obrázek 22: Řez rovinou přepážky sacího kanálu a vstřikovače [vlastní tvorba].	45
Obrázek 23: Detail řezu rovinou přepážky sacího kanálu [vlastní tvorba].	46
Obrázek 24: Řez rovinou umístěnou všemi vstřikovači [vlastní tvorba].	46
Obrázek 25: Řez rovinou umístěnou všemi vstřikovači. Pohled shora [vlastní tvorba].	47
Obrázek 26: Zobrazení hlavy motoru s návrhem tří vstřikovačů [vlastní tvorba].	48
Obrázek 27: Pohled na hlavu se třemi vstřikovači zespodu [vlastní tvorba].	48
Obrázek 28: Řez hlavou se třemi ventily rovinou umístěnou 20 mm od osy prostředního vstřikovače [vlastní tvorba].	49

Obrázek 29: Pohled na hlavu motoru s návrhem umístění dvou vstřikovačů [vlastní tvorba].	49
Obrázek 30: Návrh umístění dvou vstřikovačů (řez osou sacího ventilu) [vlastní tvorba].	50
Obrázek 31: Pohled na celkovou sestavu hlavy motoru, modulu pro uchycení vstřikovačů a sacího modulu včetně umístění endoskopu dle [19].	51
Obrázek 32: Pohled na přírubu ze strany sacího potrubí na těleso uložení vstřikovačů [vlastní tvorba].	52
Obrázek 33: Pohled na přírubu ze strany hlavy válců motoru na těleso uložení vstřikovačů [vlastní tvorba].	52
Obrázek 34: Vložka uchycení vstřikovače do palivového modulu [vlastní tvorba].	53
Obrázek 35: Umístění endoskopu do hlavy motoru [19].	54
Obrázek 36: Pohled z umístěného endoskopu v hlavě válců [19].	54
Obrázek 37: Sestava hlavy motoru, modulu uchycení vstřikovačů a sacího modulu v řezu před vstřikovači [vlastní tvorba].	55
Obrázek 38: Detailní pohled umístění vstřikovačů s kužely rozprášeného paliva [vlastní tvorba].	56
Obrázek 39: Detailní pohled umístění vstřikovače. Rovina řezu je umístěna osou vstřikovačů [vlastní tvorba].	56
Obrázek 40: Vložka s termočlánkem PT100 [vlastní tvorba].	57
Obrázek 41: Pohled kužel paliva vstřikovače s rozptylem 12 stupňů. Rovina procházející osou vstřikovače [vlastní tvorba].	58
Obrázek 42: Pohled na sací kanál se vstřikovačem s rozptylem 12 stupňů. Rovina procházející středem přepážky sacího kanálu [vlastní tvorba].	58
Obrázek 43: Porovnání nastříkované oblasti v ústí kanálu. Řez rovinou procházející osami vstřikovačů (vlevo 12°, vpravo 15) [vlastní tvorba].	59
Obrázek 44: Pohled do sacího kanálu se dvěma vstřiky na jeden ventil [vlastní tvorba].	59
Obrázek 45: Pohled na ústí sacího kanálu. Řez rovinou procházející vstřikovači [vlastní tvorba].	60

Seznam zkratek a symbolů

A	plocha	[m ²]
AFR	množství vzduchu pro spálení paliva (Air Fuel Ratio)	[m _{vzduchu} /m _{paliva}]
B	magnetické pole	[T]
BA	automobilový benzín	
c	počet molů uhlíku	[kmol]
C _{1F}	koncentrace složky 1 na fázovém rozhraní	[-]
C _{1I}	koncentrace složky 1 ve středu proudu	[-]
c _v	izochorická tepelná kapacita	[kJ/kg.K]
D ₁₂	difuzní koeficient složek 1 a 2	[m/s ²]
D _g	difuzní koeficient plynné fáze	[m/s ²]
ECU	elektronická řídicí jednotka	
h	počet molů vodíku	[kmol]
H	entalpie	[J]
H _u	dolní výhřevnost paliva	[kJ/kg]
K	kontinuální	
l _v	měrné skupenské teplo vypařování	[J/kg]
L _v	skupenské teplo vypařování	[J]
L _{vt}	stechiometrické množství suchého vzduchu	[K _{sv} ./kg _{paliva}]
L _{VT}	teoretické množství vzduchu	
	k dokonalé oxidaci 1kg paliva	[kg/kg]
L _{vtN}	stechiometrické množství suchého vzduchu	[kmol _{s.v.} / kmol _{paliva}]
m	hmotnost	[kg]
m _p	hmotnost paliva	[kg]

M_p	hmotnost paliva ve směsi	[kg]
MPI	system vícebodového vstřikování	
M_v	hmotnost vzduchu ve směsi	[kg]
n_1	molový tok složky 1	[kmol/s.m ²]
N_A	molový tok složky A	[kmol/s]
NTC-Termistor	negastor	
o	počet molů kyslíku	[kmol]
OČ	oktanové číslo	
p	celkový tlak	[Pa]
p_{1F}	parciální tlak složky 1 na fázovém rozhraní	[Pa]
p_{1I}	parciální tlak složky 1 ve středu proudu	[Pa]
p_A	parciální tlak složky A	[Pa]
PCM	modul řízení pohonného ústrojí	
Q	teplo	[J]
Q_{20-30}	teplo potřebné pro ohřev z 20 na 30 °C	[kJ]
R	universální plynová konstanta	[J.mol ⁻¹ .K ⁻¹]
R_H	topný odpor	[Ω]
R_L	odpor termistoru	[Ω]
R_S	odpor snímače	[Ω]
s	počet molů síry	[kmol]
s'	vzdálenost od fázového rozhraní	[m]
t	teplota	[°C]
T	termodynamická teplota	[K]
U	vnitřní energie	[J]

V	objem	[m ³]
VFI	systemy vstřikování odpařeného paliva	
W	práce	[J]
λ	součinitel přebytku vzduchu	[-]
σ_c	hmotnostní množství uhlíku	[kg]
σ_h	hmotnostní množství vodíku	[kg]
σ_{o_2}	hmotnostní množství kyslíku	[kg]
σ_s	hmotnostní množství síry	[kg]

Úvod

Vozidlové spalovací motory jsou v současné době stále ještě globálně nenahraditelným strojem k přeměně tepelné energie na mechanickou práci a i do budoucna budou mít v automobilovém průmyslu významnou pozici. Použití elektromobilů není ve větším množství realizovatelné, což je způsobeno nedostatečnou sítí pro nabíjení, stále vyšší pořizovací cenou baterií a potřebou surovin lithia a mědi. Můžeme zmínit také fakt, že elektromobily nulové emise rozhodně nemají a v této době jsou závislé na energii vytvořené v tepelných a jaderných elektrárnách. Spolu se vzrůstajícím počtem automobilů je na pohonné jednotky čím dál více kladen požadavek na nižší spotřebu paliva, menší hlučnost, vyšší účinnost a nižší emise škodlivých plynů. Předpokládá se, že vývoj bude stále velmi intenzivní, i když pravděpodobně nebude docházet ke zlepšení v takovém rozsahu jako v počátku vývoje pohonných jednotek.

Optické metody pozorování nám mohou podat velmi dobrou představu o probíhajících dějích v motorovém prostoru, tvorbě směsi a jejího proudění, což můžeme použít v optimalizaci sacích a spalovacích prostor. Tvorba žádané směsi a co nejdokonalejší shoření ve spalovacím prostoru je tím, čeho chce každý konstruktér motorů dosáhnout.

V dnešní době díky moderním vstřikovacím systémům je možné použít více vstřikovačů na jeden válec, což spolu s variabilním časováním ventilů rozšiřuje možnosti zlepšení kvality přípravy palivové směsi. Vývoj vstřikovacích systémů od uvedení prvního jednobodového vstřikování v roce 1976 prodělal výrazný pokrok v oblasti snímání, řízení a výpočtu dávkované směsi a jeho největší nedostatky byly odstraněny u motoru s vícebodovým vstřikováním v roce 1981, které se zdokonalovalo až do dnešní podoby. Dnešní systémy dávkování paliva dokáží snímat mnoho veličin a efektivně řídit množství paliva vstřikovaného pod velkým tlakem. Důsledkem je lepší tvorba a homogenizace směsi i při přechodových režimech a mezních stavech motoru.

V úvodu práce je čtenář seznámen se současnými způsoby vnější tvorby směsi zážehových motorů.

Ve druhé části práce jsou modelovány návrhy na co nejvýhodnější umístění vstřikovačů s ohledem na zástavbu a reálnou proveditelnost. Není opomenuto ani efektivní směřování endoskopů a zajištění co nejlepšího přístupu pro zajištění vizuálního měření.

Hlavním cílem mé práce je konstrukční řešení umístění dvou či tří polohovatelných vstřikovačů do modulu umístěného mezi sací potrubí a hlavu válců motoru o zdvihovém objemu 1.6L MPI.

1 Vnější tvorba palivové směsi zážehových motorů

1.1 Palivo pro zážehové motory

Zážehové motory využívají ke spalování benzín, metanol nebo plyn. Malé kapičky kapalného paliva či plynu jsou vstřikovačem dávkovány do sacího potrubí směrem k sedlu sacího ventilu. Během tohoto procesu dochází k odpařování a mísení se vzduchem za vzniku homogenní směsi. Tato směs je nasáta do válce, kde dojde k zažehnutí jiskrou svíčky.

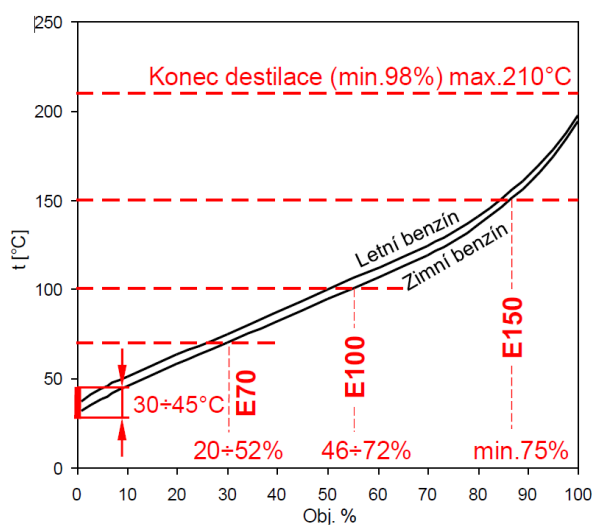
Požadavky kladenými na palivo jsou vysoká výhřevnost, nízká cena, co nejnižší zdravotní závadnost, chemická časová stálost, schopnost tvořit směs a schopnost úplného shoření. Paliva lze rozdělit podle obnovitelnosti na fosilní nebo obnovitelná. Další způsoby rozdělení jsou podle skupenství na kapalná a plynná. V následující tabulce č. 1 jsou shrnuty základní fyzikální vlastnosti a složení paliv [1, 2].

Vlastnost	Benzín	LPG	CNG	etanol	MTBE	Nafta
Chemická formulace	$C_xH_{1,8x}$	$C_xH_{2,6x}$	CH_4	C_2H_5OH	$CH_3OC_4H_9$	$C_{19}H_{35}O_2$
Převažující uhlovodíky	C_4 až C_{10}	C_3 a C_4	CH_4			C_{10} až C_{22}
Hustota [Kg/m ³ /15°C]	720–775	510–580		794	746	800–845
Výhřevnost [MJ/Kg]	42–43,5	46,0	50,0	26,8	35,2	42,5
Teplota vznícení [°C]	450	460	650	420	435	250
OČ VM	91–100	cca 100	130	108/120*	118	–
OČ MM	82–90	91	–	90/99*	101	–
CČ	–	–	–	7	12	nad 51
CI	10	–	–	5	<0	nad 46
AFR	14,7	15,0	17,2	9,0	11,7	14,6
Bod/rozmezí varu [°C]	30–210	-42–+4	-162	78	55	160–360
Výparné teplo [KJ/Kg]	290	300	555	904	337	180
Meze hořlavosti (hm %)	0,7–7	1,5–9	5,0–15	3,5–15	1,6–8,4	0,6–6,5
Energie inic. Jiskry [MJ]	90–150	260	velká	0,2		45
Obsah uhlíku [% hm]	85,5	84,0	74,3	52,2	68,2	86,0
Obsah vodíku [% hm]	14,5	16,0	24,8	13,0	13,6	14,0
Tlak par [kPa]	45–90	1550		21		<1

Tabulka 1: Fyzikální vlastnosti a složení paliv a některých jejich složek [1].

1.2 Automobilový benzín

Nejrozšířenějším palivem zážehových motorů je automobilový benzín (BA), který patří mezi paliva uhlovodíková, kapalná. Vyrábí se destilací ropy za teplot v rozmezí 40–200 °C bez přístupu vzduchu a je složen z několika desítek uhlovodíkových sloučenin o rozdílné molekulové hmotnosti. Jeho hustota je 720–775 kg/m³. Obsah síry u BA nesmí překročit 10 mg/kg. Jednou z nejzásadnějších vlastností je odpařitelnost, kterou lze popsat destilační křivkou, která je zobrazena na obrázku. č. 1. Tato křivka popisuje, jaké objemové procento benzínu se odpaří při určité teplotě. Počátek destilace ovlivňuje ztráty při manipulaci s palivem. E70 označuje objemové procento benzínu, které se odpaří právě při teplotě 70 °C. Tato hodnota určuje startovatelnost studeného motoru. E100 určuje akcelerační schopnosti motoru a E150 úplné shoření paliva a ředění oleje. Destilační zbytek je menší než 2 %. Zážehové motory vždy startují a zahřívají se na provozní teplotu s bohatou směsí λ menší než 1, kde λ je součinitel přebytku vzduchu. Lepší odpařitelnost benzínu výrazně snižuje spotřebu při studených startech [1, 2].



Obrázek 1: Destilační křivka automobilového benzínu [2].

Dalším neméně důležitým parametrem je oktanové číslo (OČ), které udává odolnost paliva vůči klepání. Klepání je samovznícení paliva většinou od nechtěného lokálního zdroje tepla, který je doprovázen lokálním zvýšením tlaku vyvolávající oscilace frekvencí 7–12 kHz. Tento jev je velmi nebezpečný a může dojít až k poškození motoru. Oktanové číslo je měřítkem odolnosti vůči samovznícení a u automobilového benzínu je vyjádřeno poměrem množství izooktanu C₈H₁₈ (OČ = 100) a n-heptanu C₇H₁₆ (OČ = 0). Oktanové číslo se měří na zkušebním motoru s proměnným kompresním poměrem a porovnává se vůči dvěma připraveným vzorkům, jejichž oktanová čísla známe. Nutnost

použití vyššího oktanového čísla závisí na kompresním poměru a konstrukčním uspořádání motoru, přičemž při zvýšení oktanového čísla je možné použít větší kompresní poměr [1, 2].

1.3 Palivová směs

Pro přípravu palivové směsi zážehových motorů se v dnešní době používají podle způsobu umístění vstřikování tři systémy. Centrální vstřikování paliva CFI (Central Fuel Injection), vícebodové vstřikování paliva MPI (Multi Point Injection) a v neposlední řadě také přímé vstřikování paliva GDI (Gasoline Direct Injection). Směs vytvořená palivovým systémem motoru se musí úplně odpařit a palivové páry se musí téměř dokonale promísit se vzduchem [3].

Palivová směs je charakterizována součinitelem přebytku vzduchu λ . Ten lze vypočítat podle rovnice (1).

$$\lambda = \frac{M_v}{M_p \cdot L_{VT}} \quad (1) \quad [3]$$

Jestliže je $\lambda = 1$, směs je stechiometrická.

Stechiometrické množství suchého vzduchu je takové množství vzduchu, které je nutno smísit s palivem za předpokladu prohoření v celém objemu. Toto množství je možné spočítat z chemické rovnice, uvažujeme-li, že palivo se skládá z $C_cH_hS_sO_o$ kilomolů v prvním případě, nebo kilogramů v případě druhém. Výpočet je znázorněn rovnicemi (2) a (3) [4].

$$L_{vtN} = \frac{1}{0,21} \cdot \left(c + \frac{h}{4} + s - \frac{o}{2} \right) \left[\frac{\text{kmol suchého vzduchu}}{\text{kmol paliva}} \right] \quad (2) \quad [4]$$

$$L_{vt} = \frac{1}{0,232} \cdot \left(\frac{8}{3} \cdot \sigma_c + 8\sigma_{H_2} + \sigma_s - \sigma_{O_2} \right) \left[\frac{\text{kg suchého vzduchu}}{\text{kg paliva}} \right] \quad (3) \quad [4]$$

S takovou směsí pracuje většina dnešních motorů, a to i kvůli možnosti použití třícestného katalyzátoru ke snižování emisí.

Při $\lambda < 1$ je směs bohatá a spalování je energeticky nevýhodné. Vedle CO_2 a H_2O se ve spalinách vyskytuje CO a H_2 , což je nežádoucí, protože oxid uhličitý je pro lidský organismus jedovatý, a navíc nedochází k využití energetického potenciálu paliva.

Palivo se taktéž obohacuje při studeném startu motoru, kdy není olej ani chladící kapalina zahřátý na provozní teplotu motoru, a dochází k nedostatečnému mísení paliva se vzduchem. Palivo se vlivem nízké teploty špatně odpařuje a dochází ke smáčení stěn sacího kanálu a válce.

Chudá směs o $\lambda > 1$ je typická pro spalování směsi plynových a vznětových motorů.

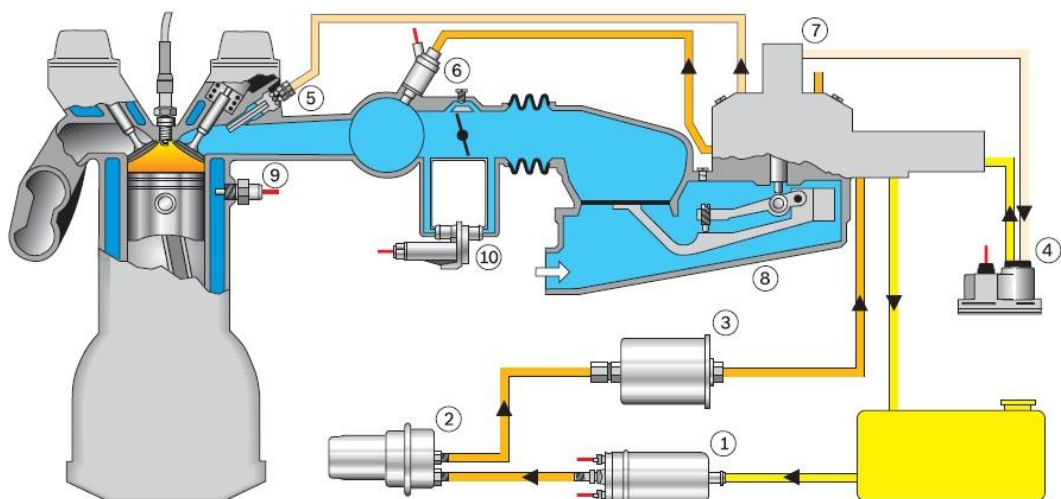
Pro řízení výkonu u zážehových motorů s vnější tvorbou směsi se využívá změna množství nasávaného vzduchu změnou úhlu natočení škrticí klapky. Pro řízení výkonu zážehových motorů s vnitřní tvorbou směsi je hlavním parametrem množství vstřikovaného paliva. Během akcelerace a decelerace se rychlost odpařování paliva mění v závislosti na tlaku v sacím potrubí. Při akceleraci se škrticí klapka otevírá a tím se zvětší tloušťka palivového filmu na stěnách sacího potrubí. Dojde tak ke krátkodobému ochuzení směsi. Opačná situace nastane při deceleraci a dojde tak ke spalování bohaté směsi, která má za následek zvýšení emisí motoru [5].

Homogenní hořlavá směs je zápalná jen v rozmezí svého složení. Příliš bohatá, palivem přesycená směs ani příliš chudá směs není zápalná. Na mez zápalnosti mají vliv různé podmínky. Zapalování dostatečným zdrojem tepla a dostatečně vysokou teplotou za vyššího tlaku lze meze zápalnosti podstatně rozšířit [6].

Nejdříve probíhá příprava palivové směsi, a to fyzikálně a chemicky. Ve fyzikální části je palivo rozprášeno do vzduchu a v sacím kanálu se vytvoří palivový film. Tak vznikne kontaktní plocha paliva s okysličovadlem. V chemické části přípravy paliva proběhnou předplamenné reakce. Po tomto procesu probíhá vlastní hoření směsi [6].

1.4 Vícebodové vstřikování

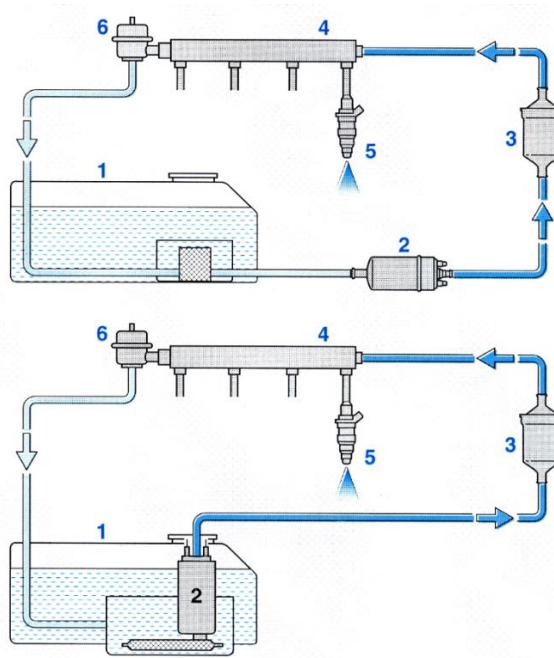
Vícebodové vstřikování je elektronicky řízený vstřikovací systém, ve kterém je palivo vstřikováno více elektromagnetickými vstřikovacími ventily na konci sacího potrubí na horní stranu teplých sacích ventilů, kde dochází k odpaření paliva a následnému nasání směsi do válce. Díky možnosti vstřikovat palivo přímo před sací ventil lze dosáhnout lepší homogenity směsi, rychlejší reakce motoru na změnu polohy plynového pedálu a menšímu ovlivnění při studených startech. Dochází tedy k lepšímu spalování paliva, vyšším výkonům a nižší spotřebě paliva. Schéma vícebodového vstřikování paliva K-Jetronic je zobrazeno na obrázku číslo 2. Jedná se o nejrozšířenější druh spojitého vstřikování, který byl uveden na trh již v 70. letech minulého století.



- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| ① Elektrické palivové čerpadlo | ⑥ Ventil studeného startu |
| ② Zásobník paliva | ⑦ Rozdělovač množství paliva |
| ③ Palivový filtr | ⑧ Měřič množství vzduchu |
| ④ Regulátor zahřívání motoru | ⑨ Teplotně časový spínač |
| ⑤ Vstřikovač | ⑩ Šoupátko přidavného vzduchu |

Obrázek 2: Schéma vícebodové vstřikování K-Jetronic [7].

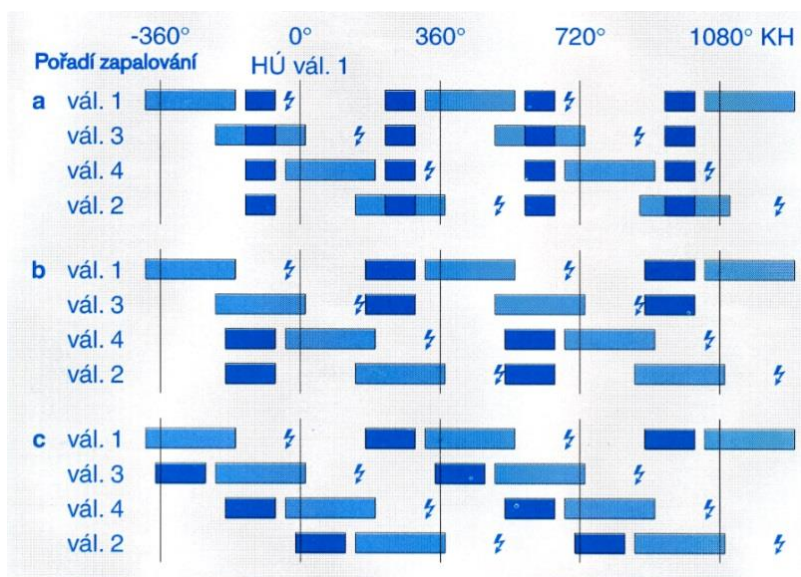
Dnes se většinou používá časované vstřikování, kdy se palivo vstřikuje v naprogramovaných okamžicích. To zabezpečuje palivová soustava, která je znázorněna na obrázku č. 3. Pod číslem 1 je znázorněna palivová nádrž, ze které je palivovým čerpadlem (2) palivo dopravováno přes palivový filtr (3) do rozdělovacího potrubí (4) a vstřikováno vstřikovačem (5) do sání motoru. Aby nedošlo k nepřijatelnému tlaku, je do okruhu zařazen ventil regulace tlaku paliva (6).



Obrázek 3: Schéma palivového systému [8].

1.4.1 Způsoby vstřikování paliva

Vstřikování paliva může probíhat kontinuálně (spojitě), kdy děj probíhá přes celý cyklus, nebo pulzně (časovaně). Pulzní vstřikování můžeme rozdělit na vstřikování paralelní, skupinové a sekvenční. Při paralelním vstřikování je palivo vstřikováno do všech válců současně, u skupinového se plní například první a třetí a poté čtvrtý a druhý válec. Při sekvenčním vstřikování jsou pulzy synchronizovány s otevíráním sacích ventilů jednotlivých válců. Varianty časování jsou zobrazeny na obrázku č. 4.



Obrázek 4: Časování benzínového motoru a) paralelní, b) skupinové, c) sekvenční [8].

1.4.2 Části vícebodového vstřikování

V této kapitole jsou popsány elektrické a mechanické části vícebodového vstřikování, které jsou důležité pro správnou tvorbu směsi.

1.4.2.1 Elektronická regulace systému vícebodového vstřikování

Pro správnou funkci motoru je třeba snímat velké množství veličin vstupujících do systému, jako jsou množství a teplota nasávaného vzduchu nebo tlak paliva. Jedním z hlavních údajů o tvorbě směsi jsou hodnoty z lambda sondy ve výfukovém potrubí. Lambda sonda určuje součinitel přebytku vzduchu, jímž je palivová směs charakterizována. U benzínových motorů by se měla palivová směs modulovat kolem hodnoty $\lambda = 1$. Existuje více druhů lambda sond a těmi jsou lambda sonda se skokovou charakteristikou, odporová lambda sonda nebo širokopásmová lambda sonda.

Lambda sonda se skokovou charakteristikou se skládá z keramického tělesa, které nepropouští plyn a je zevnitř a zvenku potaženo platinou. Vnější keramická část je spojena s platinou a tvoří tak kladný pól. Vnitřní platinová vložka se vzduchem tvoří pól záporný. Tato sonda dokáže rozeznat pouze to, je-li směs bohatá či chudá, protože se napětí mění skokově. Teplota použití je 850–900 °C. Odporová lambda sonda využívá toho, že oxid titaničitý, ze kterého je sonda vyrobena, mění svou vodivost. U chudé směsi má titan vyšší vodivost než u bohaté směsi. Optimální provozní teplota je 600–700 °C a při nízkých teplotách musí být sonda vyhřívána [9].

Snímanými provozními vlastnostmi jsou poloha vačkové hřídele, otáčky motoru, poloha škrticí klapky a poloha plynového pedálu.

Množství a teplota do motoru nasávaného vzduchu se měří NTC-termistorem a měřičem hmotnostního množství vzduchu s vyhříváním drátkem nebo vyhřívanou folií. V případě měření prvním způsobem je vyhřívání drátek měřeným proudem udržován na konstantní nastavené teplotě, která je vyšší než teplota vzduchu. V druhém případě, kdy se měření hmotnostního množství vzduchu provádí pomocí vyhřívání folie, obsahuje měřič 3 rezistory měřicího odporového můstku. Elektronika v měřiči hmotnostního množství vzduchu s vyhříváním folií reguluje změnami napětí teplotu topného odporu R_H tak, aby byla o 160 °C vyšší než teplota nasávaného vzduchu. Teplota nasávaného vzduchu se měří NTC-termistorem R_L . Teplota topného odporu se vyvažuje odporem snímače R_s . Při zvýšeném nebo sníženém průtoku vzduchu se topný odpor více či méně ochlazuje. Porovnáním odporu snímače R_s a termistoru R_L reguluje elektronika napětí

topného odporu R_H tak, aby se opět dosáhlo rozdílu teplot $160\text{ }^\circ\text{C}$. Z tohoto regulačního napětí vytváří elektronika snímače signál pro řídicí jednotku odpovídající nasávanému množství vzduchu [9].

V sacím potrubí je rovněž umístěn snímač tlaku, který je založen na principu deformování membrány, pod kterou jsou uloženy piezoelektrické rezistory, jejichž vodivost se mění v závislosti na tlaku [9].

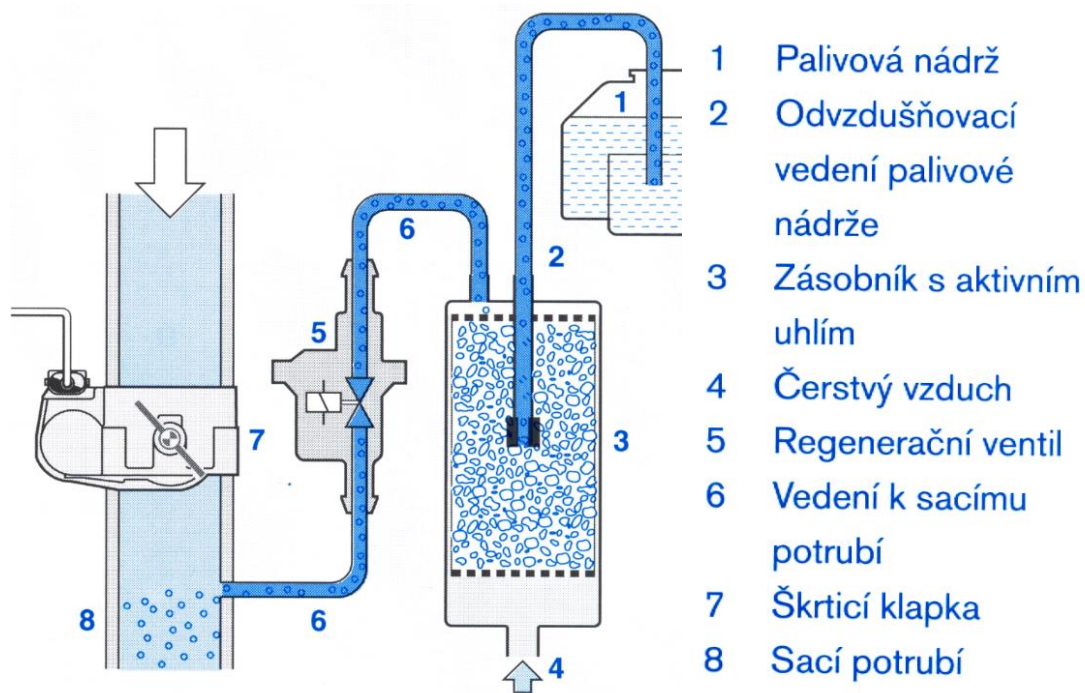
Poloha škrticí klapky je zjišťována připojeným potenciometrem a dráha je dána úbytkem napětí na odporových drahách. Společně s počtem otáček a teplotou nasávaného vzduchu je poloha škrticí klapky základním parametrem pro určení množství nasávaného vzduchu. Pokud je údaj ze škrticí klapky hlavním signálem zobrazujícím zatížení, je z bezpečnostních důvodů snímán hned dvěma potenciometry [9].

Určení počtu otáček lze realizovat indukčním snímačem, Hallovým snímačem na rozdělovači, vačkové nebo klikové hřídeli. Při použití indukčního snímače je rotující hřídel osazena feromagnetickým kolečkem s výřezy, které při rotaci generuje pulzující indukované střídavé napětí. Hallové snímače mají oproti indukčním snímačům výhodu v tom, že velikost napětí není závislá na počtu otáček a lze s nimi snímat i velmi nízké počty otáček. Hlavní část snímače je Hallův generátor, který se skládá z polovodičové vrstvy, kterou protéká napájecí proud I_v [9].

Jestliže Hallův generátor prochází magnetickým polem B , jsou volné elektrony vytlačovány na jednu stranu a vzniká tak Hallovo napětí. Při poruše Hallova snímače nelze motor používat, protože řídicí jednotka nezná vstřikovací množství ani počet vstřiků [9].

1.4.2.2 Palivový systém s odvětráváním

Odvětrávání palivové nádrže je realizováno vývodem s uhlíkovým filtrem, do kterého přichází čerstvý vzduch z okolí. Ze zásobníku s aktivním uhlím jsou vedeny výpary přes regenerační ventil do sacího potrubí za škrticí klapku. Při přeplnění nádrže nebo převrácení vozidla je tento vývod chráněn plovákovým gravitačním ventilem, který zabrání úniku. Systém odvětrávání palivové nádrže je zobrazen na obrázku č. 5.

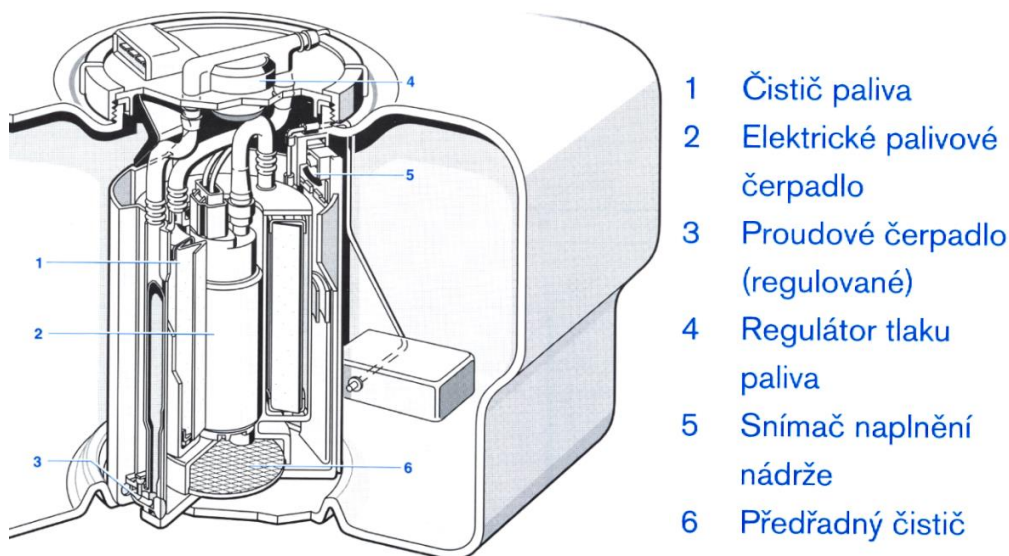


Obrázek 5: Odvětrávání palivové nádrže [10].

Při zahřátí paliva a jeho rozpínání je palivo zachyceno v expanzní vyrovnávací nádržce, která je umístěna před odvětráváním. Pro spalování je potřeba zabezpečit potřebné množství přefiltrovaného paliva pod tlakem.

Palivo je uchováno v nádrži, ze které je po sepnutí spínací skříňky čerpáno nízkotlakým čerpadlem přes palivový filtr z nádrže. Palivová čerpadla mohou být samostatná nebo instalovaná do nádrže. Výhodou čerpadel instalovaných do nádrže je to, že se v nádrži tlumí jejich hluk a jsou dobře chráněna proti korozi. Jejich výměna je ale dosti složitá. Podle způsobu čerpání se dělí na objemová a proudová čerpadla. Objemová čerpadla jsou relativně hlučná, vydávají silné pulzační zvuky a pracují tak, že se směrem k výstupu zmenšuje objem komůrek, ve kterých se palivo stlačuje. Proudová odstředivá čerpadla nutí palivo rotovat a tlak generují pouze odstředivou silou. Na rozdíl od objemových čerpadel jejich výstupní tlak není větší než 0,4 MPa [8].

Vzhledem k malé vůli vstřikovací trysky nesmějí být nečistoty v palivu větší než 2–3 μm . Používá se třístupňová filtrace přes kovová sítká s maximální propustností částic o velikosti 50–70 μm a dvoustupňový porézni čistič z porézniých materiálů, jako je například papír, tkaniny nebo spékané kovy. Tyto materiály odstraňují v prvním stupni filtrace jemné nečistoty o velikosti do 10 μm a ve druhém stupni pak nečistoty o velikosti 1–3 μm .

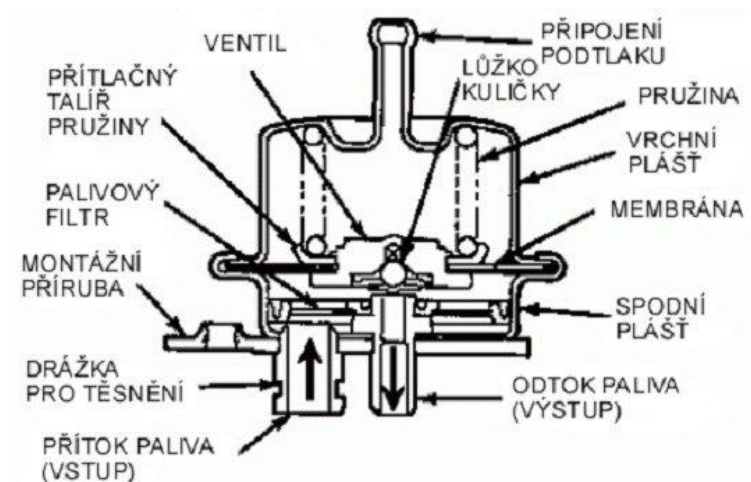


Obrázek 6: Řez palivovou nádrží s palivovým čerpadlem instalovaným uvnitř [8].

Na obrázku č. 6 je zobrazena palivová nádrž s integrovaným čerpadlem. Palivovým vedením, které je tvořeno ocelovými nebo speciálními pryžovými trubičkami, se palivo dostává do rozdělovače, kde se různými způsoby a časováním dávkuje vstřikovačem do válce.

1.4.2.3 Regulátor tlaku paliva

Tlak v rozdělovacím potrubí nastavuje regulátor tlaku, který je umístěn na konci potrubí. Regulátor je tvořen kovovým tělesem, rozděleným na dvě části příčnou membránou viz obrázek č. 7. V pružinové komoře působí na membránu předepnutá šroubová pružina a v druhé komoře na ni působí tlak paliva z rozdělovacího potrubí [5].



Obrázek 7: Regulátor tlaku paliva [11].

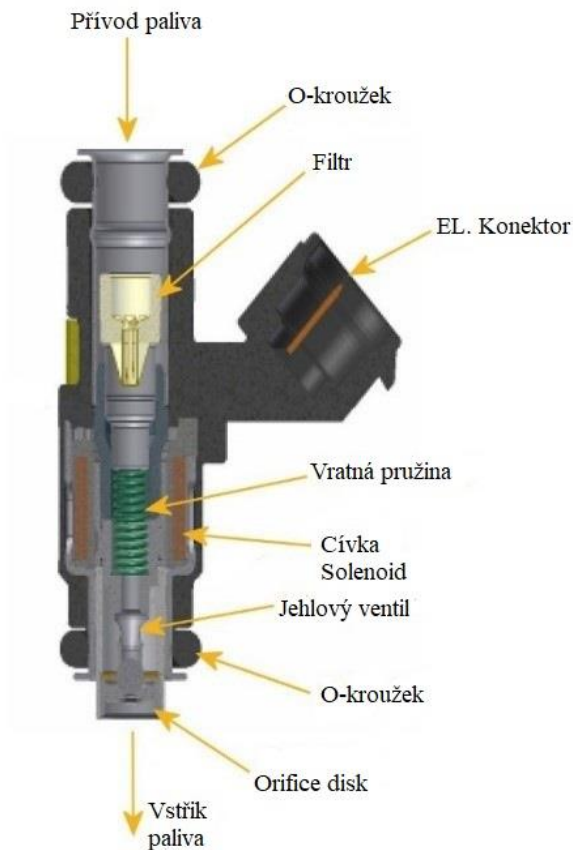
Při překročení nastaveného tlaku se membránou ovládaný ventil otevírá a propouští nadbytečné palivo do vratného potrubí k nádrži. V nádrži je již tlak paliva minimální. Do pružinové komory je přiváděn podtlak ze sacího potrubí, aby regulátor udržoval stálý rozdíl mezi tlakem paliva a tlakem v sání. Množství paliva vstříknutého elektromagneticky ovládanou tryskou je určeno dobou otevření trysky [5].

1.4.2.4 Vstříkovací tryska

Důležitou součástí vícebodových vstříkovacích systémů (MPI – Multi-Point Injection) je vstříkovací tryska, která má za úkol ve správnou chvíli co nejlépe rozpráshit palivo do proudu vzduchu. Aby byly kapičky paliva co nejmenší a přesně směřované do sacího kanálu, je trendem vstříkovací tlaky neustále zvyšovat. Tento proces je také označován jako atomizace.

Hlavní vlastnosti vstříkovače, které ovlivňují tvar orifice disku, jsou průměr vstříkovače, jeho délka, počet otvorů, tlak, sbíhavost a rozbíhavost otvorů [12]. Vstříkovací tlak u motorů s vnější tvorbou směsi se pohybuje v rozmezí 2–5 barů.

Samotná konstrukce vstříkovače je zobrazena na obrázku č. 8. Palivo je přivedeno z horní části vstříkovače. Na obou stranách je těsněn o-kroužky. Jehlový ventil je ovládán cívkou, která dostává signál od řídicí jednotky.

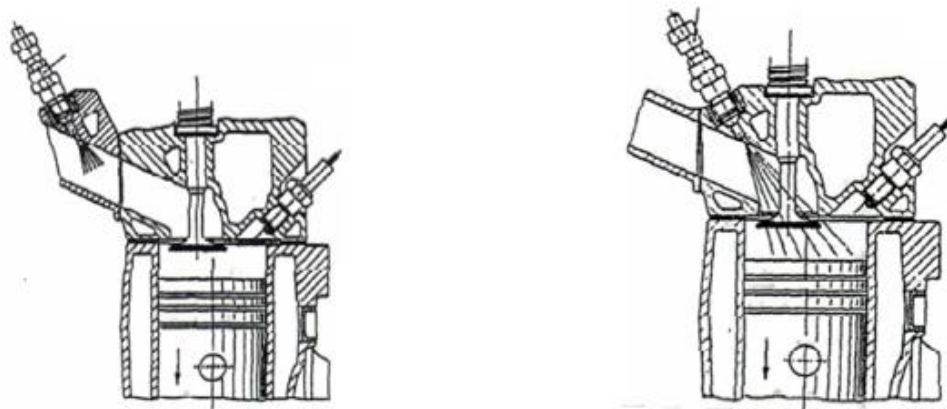


Obrázek 8: Řez vstříkovačem.

Konstrukčně se vstříkovací trysky liší podle způsobu přívodu paliva. Zatím nejrozšířenějším druhem je provedení s horním přívodem paliva označované jako Top-Feed.

Naproti tomu disková tryska používá uzávěru tvaru disku. Disk je při uzavřené trysce, kdy je vinutí elektromagnetu bez proudu, přitlačován pružinou k otvoru trysky, kterým se palivo vstříkuje. Je-li vinutí elektromagnetu pod napětím, magnetické pole armatury disk přitáhne a uvolní vstříkovací otvor. Vzhledem k nízké hmotnosti disku dokáže tryska reagovat velmi rychle. Doba náběhu bývá kolem 0,75 ms a tyto trysky se používají u vysokootáčkových motorů. Průměry otvorů pro vstříkování jsou velmi malé (řádově desetiny milimetrů) a vstříkovací tlak vysoký. Tím je docíleno jemného rozprašení paliva pro lepší odpaření a smísení paliva se vzduchem.

Vstřikování paliva systému MPI může být realizováno do sacího potrubí nebo sacího kanálu, jak je patrné z obrázku č. 9. Vstřikovací ventil by měl být ideálně směřován co nejbližší sacímu ventilu, aby nedocházelo ke smáčení stěn sacího potrubí.



Obrázek 9: Umístění vstřikovače do sacího potrubí (vlevo) nebo sacího kanálu (vpravo) [8].

Při nástřiku stěn sacího kanálu může dojít k odtržení směsi, které nelze zaznamenat, a protože vstřikovací ventil dávkuje palivo podle zjištěných parametrů, dojde k tvorbě velmi bohaté směsi a nemusí dojít k jejímu zapálení.

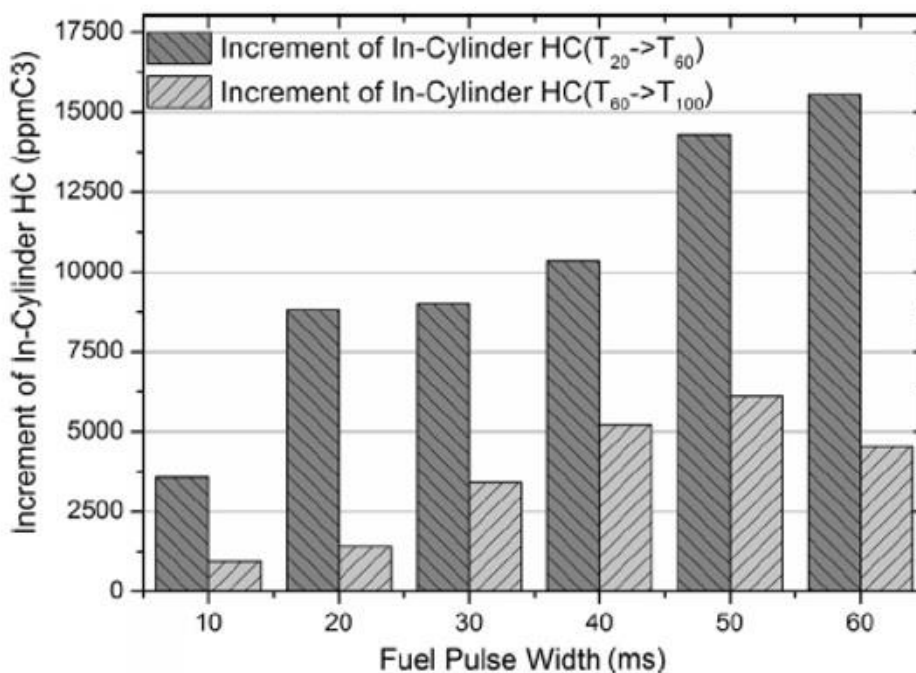
1.5 Dynamika palivového filmu

Problémem vstřikovacích systémů je to, že při otevření sacího ventilu se malá část palivové směsi nedostane do spalovacího prostoru a zbyde v sání jako odpadní palivo, což je nežádoucí hlavně u motorů bez variabilního časování ventilů. Tento problém se týká jak jednobodového, tak vícebodového vstřikovacího systému.

Na palivový film na stěně kanálu působí dvě síly. Jedna je způsobena proudícím plynem a unáší palivový film dále do válce a druhá je síla viskózního tření, která působí proti pohybu směsi do válce [12].

Tloušťka palivového filmu závisí na mnoha faktorech, a to zejména na množství protékajícího vzduchu v sacím potrubí, poloze plynového pedálu, zatížení motoru a otáčkách motoru.

Když dojde k odtržení směsi, velmi výrazně se zvyšují emise nespálených uhlovodíků (HC). Zvýšením teploty sacího potrubí a zkrácením vstřikovacího času lze částečně emise snížit, což je zobrazeno na následujícím grafu viz obrázek č. 10 [8].



Obrázek 10: Závislost emise nespálených uhlovodíků na teplotě sacího potrubí [13].

1.6 Tvorba směsi VFIS (Vaporized Fuel Injection System)

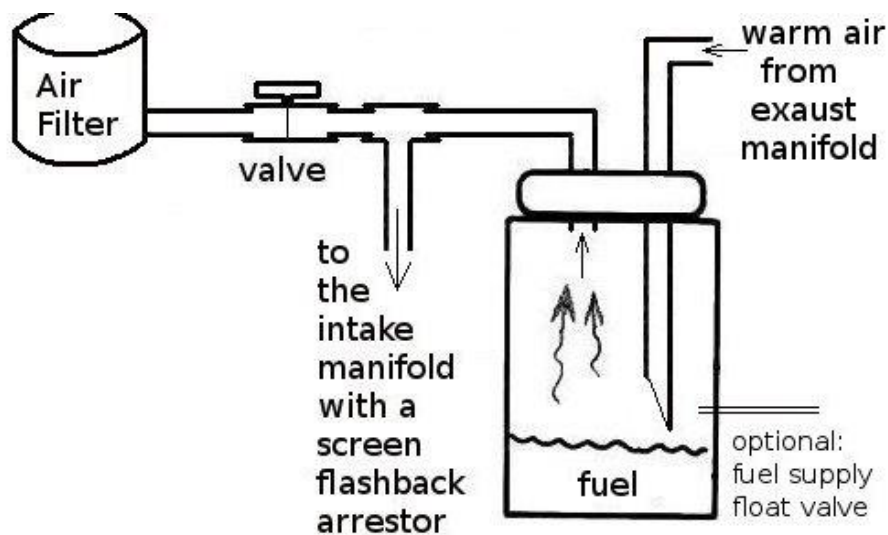
Novým, prozatím neprobádaným a v praxi nezavedeným systémem tvorby paliva je tvorba směsi u takzvaných VFI systémů (Vaporized Fuel Injection). Doprava směsi do válce probíhá jako nepřímé vstřikování s tím rozdílem, že přesně odměřené palivo se odpařuje v odpařovací nádržce ještě před jeho dopravením do sacího potrubí. Tím že se palivo odpařuje, se získává nejjemnější elementární směs, které lze dosáhnout. Další velkou nespornou výhodou je, že teplo výfukového potrubí je využito k odpařování směsi v předřazené nádržce, a proto se neodebírání teplo ze systému potřebné na zahřátí a odpaření paliva. Toto teplo, které by zůstalo nevyužito, je motorem přeměněno v práci, a proto se značným způsobem sníží spotřeba i emise [13, 14].

Přítok studeného vzduchu potřebného pro spalování lze kompenzovat předehřátím odpařeného paliva předem na vyšší teplotu a udržovat tak teplotu spalovacího prostoru na požadované hodnotě [13, 14].

Kromě nesporných výhod má ale tento systém hodně nevýhod. Hlavní nevýhodou tohoto procesu je, že je třeba vyhřívání komora k odpařování. To může způsobovat velké problémy při studených startech kvůli neúplnému odpaření paliva zejména dlouhých

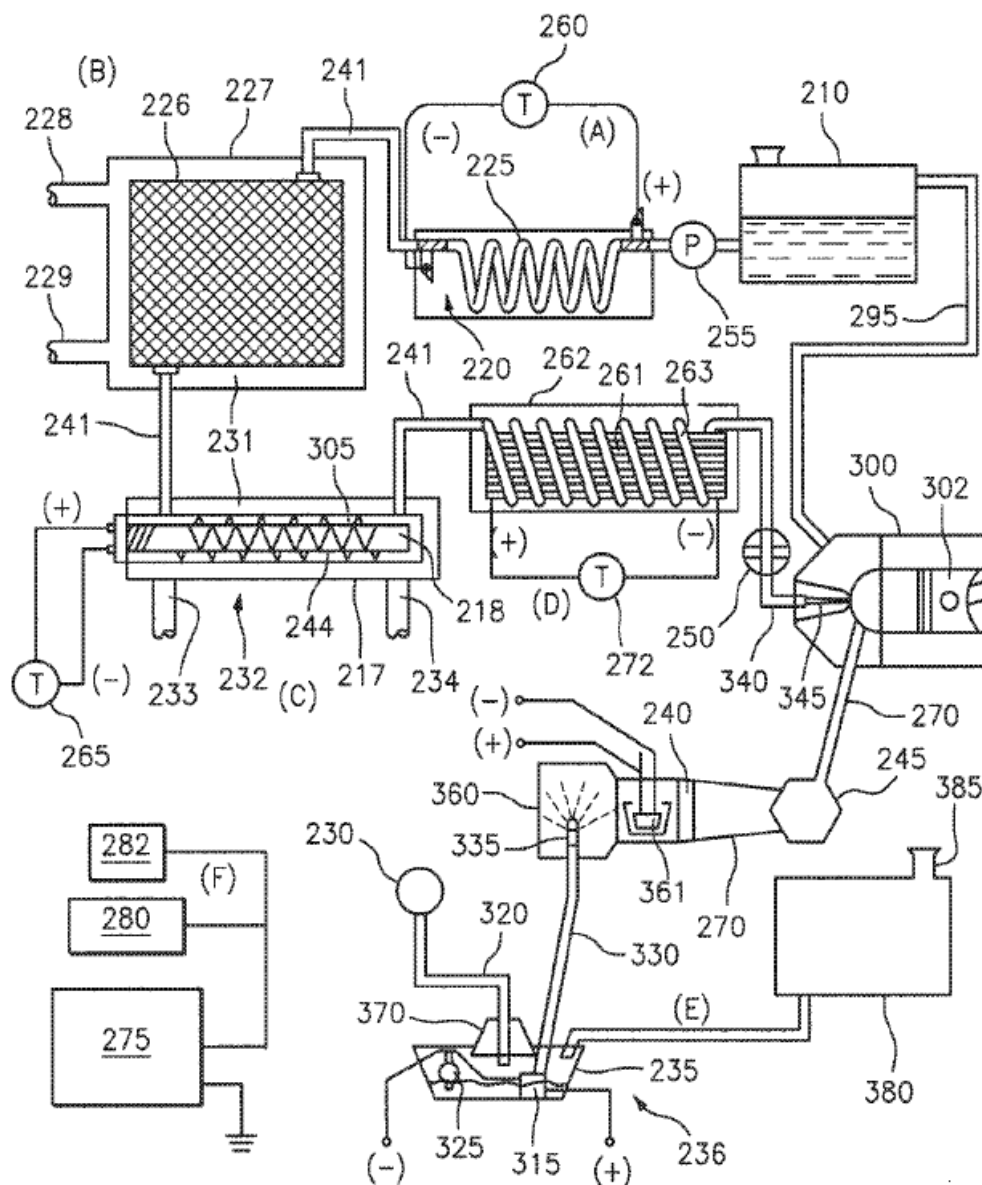
uhlovodíkových řetězců. K tomu se přidává fakt, že tento systém nelze použít u přímo-vstřikovaných motorů [13, 14].

Otázkou je i rychlost reakce na změnu zatížení motoru, protože dávkování směsi pro odpaření probíhá ještě před vpravením směsi a pro odpaření a dopravu směsi do válce je potřeba relativně velké množství času. Na obrázku č. 11 je znázorněno zjednodušené schéma VFI systému. Do válce (*uprostřed*) je přiváděn vzduch přes vzduchový filtr (*vlevo*) a současně palivo (*vpravo*), které se odpaří v předřazené nádržce působením horkého vzduchu z výfukového potrubí. Po smísení obou složek dojde k hoření ve válci a směs je expandována do výfukového potrubí [13, 14].



Obrázek 11: Zjednodušené schéma systému VFI [13].

Další komplikovaný případ dle patentu pro TSI systém odpařování paliva a rozprašování paliva v sacím vzduchu zobrazuje obrázek č. 12.



Obrázek 12: Detailní schéma VFI systému [15].

První etapa zahřívání paliva je realizována mnoha komponenty, které ovlivňují proudění paliva z palivové nádrže (210) do motoru (300). Hlavním zdrojem paliva je již zmíněná palivová nádrž, odkud je palivo dopravováno palivovým čerpadlem (255) do palivové cívky (225) uložené v izolovaném pouzdrú (220). Cívka je vyhřívána odporovým ohřivačem, který je napojen na baterii s nabíjením (275). Oba konce palivové cívky jsou izolovány a elektrický proud je veden kovovým žebrováním kolem cívky. Teplota je po průchodu tímto tělesem ohřáta na teplotu 51,6 °C.

Ohřáté palivo je vytlačováno do druhé zahřívací etapy. Ta je řešena palivovým výměníkem (226) s velkým počtem otáček kovových trubiček, který může například

sloužit jako obrácený chladič převodovky nebo oleje v opačném směru, než je přiváděno palivo k výhřevu. Z vnějšku připevněná žebra dokáží absorbovat teplo z prostředí palivového potrubí (241) a částečně izolovat přechod mezi první a druhou zahřívací fází.

V chladicí soustavě motoru (227) je proudící kapalina, která je hnána vodní pumpou a protéká vstupem (228) do výměníku (226), kde je ochlazována, a tento prostor opouští výstupem (229). Vystupující palivo z druhé části je zahřáto na 57 °C.

Ve třetí etapě zahřívání paliva je palivo vtlačováno do třetího výměníku, ve kterém je odporová topná spirála napájena měničem napětí, který převádí jednosměrný proud na střídavý. Výkon tohoto výměníku je 1200–1800 wattů. Výkon je regulován termostatem (265), aby nedošlo k poškození topné spirály. Navíc je topná spirála obklopena vodním pláštěm a cirkulací chladicí kapaliny (231), ze které také využívá teplo. Můžeme říci, že je to hybridní výměník, který odebírá teplo ze dvou různých zdrojů. Teplota paliva je kontrolována termostatem, a to tak, aby zůstala v rozmezí 58–64 °C. Ve třetím stupni je palivo obohacováno o ionty kovů a molekuly vodíku H₂ (305). V palivu pak může probíhat galvanická reakce na palivo. Tyto kovy jsou dodávány komerčně a mohou být složeny ze železa, mědi, zinku, chromu či niklu v různých formách malých kuliček, drátků, nebo špon.

Takto upravené palivo prochází do čtvrté fáze zahřívání, kde se zahřívá indukčním ohříváčem (261), který využívá principu magnetické rezonance k ohřevu. Palivové trubice (263), které procházejí skrz indukční ohříváč, jsou z magnetického materiálu a jsou také zahřívány indukčním ohříváčem. Palivo odváděné z výměníku má teplotu 71 °C.

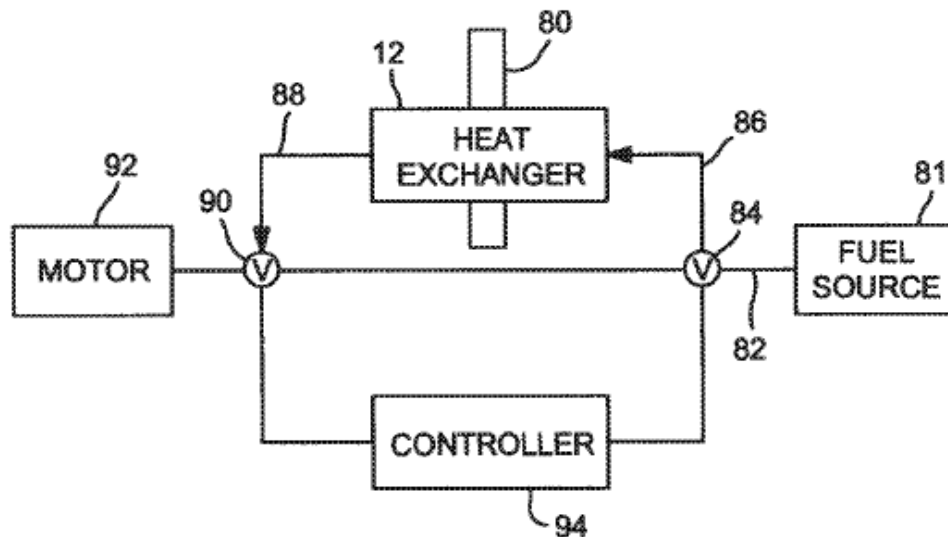
Odpařené palivo je pumpou vstřikovače (250), která zvýší tlak paliva, dopraveno do vstřikovacích ventilů (345) a spalovacího prostoru motoru (302).

Zatímco první čtyři části pojednávaly o přípravě paliva, následující část se bude věnovat přípravě vzduchu. Do vzduchu jsou v sání rozprašovány drobné kapičky paliva, které kondenzují v klimatizaci vozidla (230), pokud je jí vozidlo vybaveno. Tyto kapičky jsou vedeny do zachytného tunelu (370) umístěného na vrchu nádrže pro trvalý přívod vody (235). Kdyby přívod kondenzátu nebyl dostatečný, může být vozidlo vybaveno svou nádrží na vodu (380), ze které by byla voda doplňována do nádržky (235). Tato nádržka je konstruována tak, aby nepopraskala v případě zmrznutí kapaliny. Z tohoto důvodu má nádobka zkosené stěny.

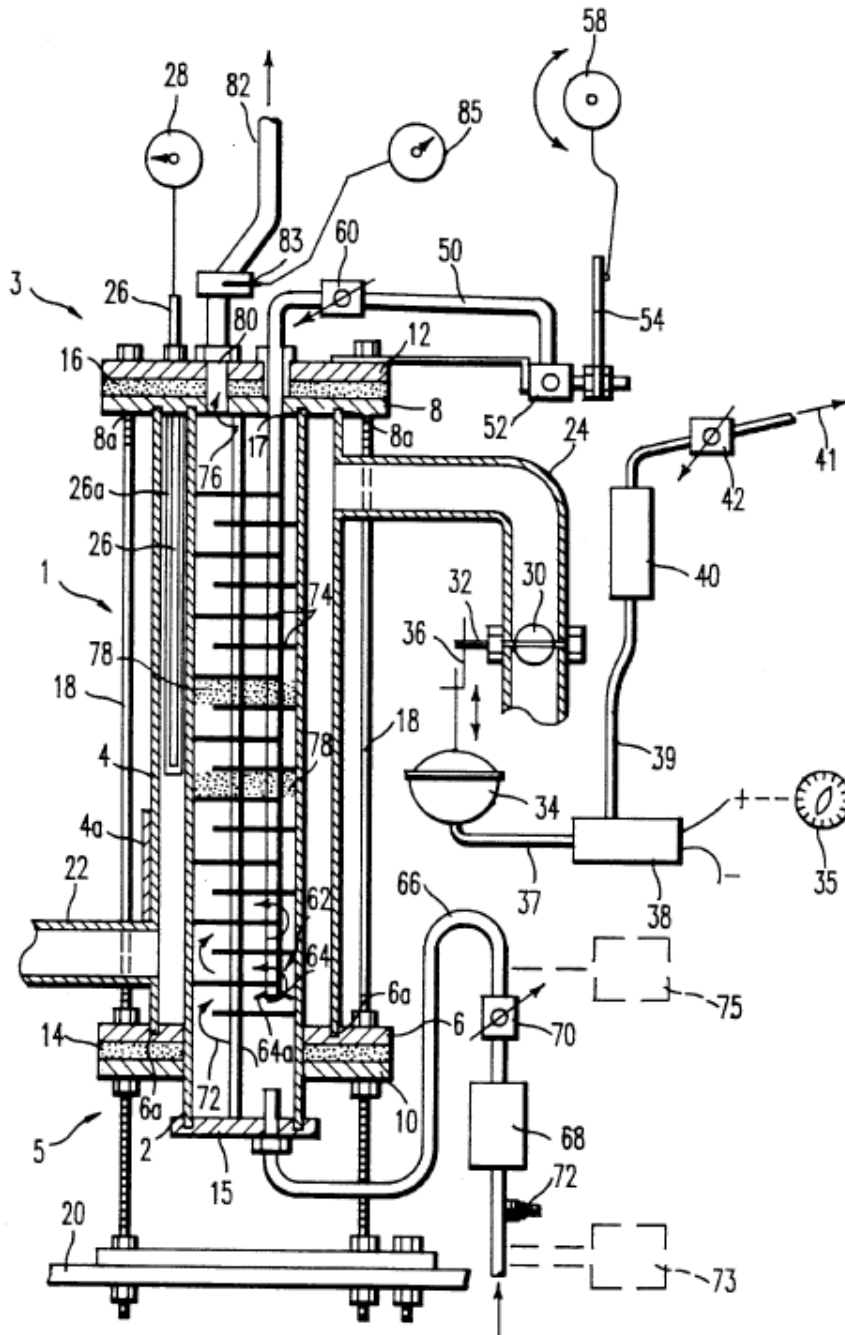
Jestliže je v nádržce dostatečná hladina vody, je pumpována do rozprašovače a aplikována do sacího kanálu (270), kde se odpaří na mlhovém filtru (240). Tato směs se smísí s palivem a je aplikována podtlakem do válce.

Na závěr se dostáváme k řízení celého systému. To je realizováno řídicí jednotkou motoru ECU (Elektrical Control Unit), modulem řízení pohonného ústrojí PCM (Powertrain Control Module) a speciálním čipem pro součinnost těchto dvou jednotek.

Jednou z nejdůležitějších částí VFI systému je tepelný výměník, který se skládá z mnoha složitých částí a je předmětem dalších patentových řešení. Tepelný výměník je do systému zapojen podle schématu na obrázku č. 13. Celkové detailní schéma tepelného výměníku je zobrazeno na obrázku č. 14.



Obrázek 13: Schéma zapojení tepelného výměníku do systému [15].

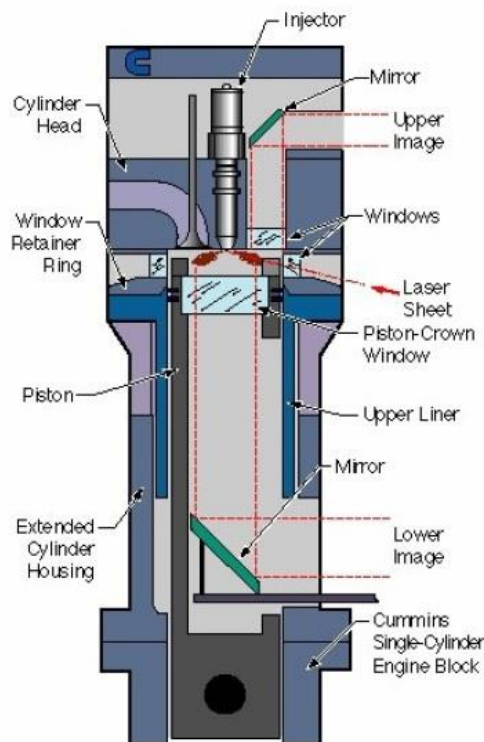


Obrázek 14: Detailní schéma tepelného výměníku [16].

Takto konstruovaný systém VFI lze použít pro motory s vnitřním spalováním směsi, dieselové motory a elektrické generátory spalující benzín. Ohřátí a vypaření palivové směsi umožňuje dodání více O_2 navázané na molekulu vodíku H_2 . Systém vypařování paliva dokáže rozložit částice paliva na nejmenší možné elementární jednotky, které obsahují více kyslíku a vodíku. Ten při spalování vydá velké spalné teplo, čímž se zlepší účinnost hoření ve spalovacím prostoru motoru.

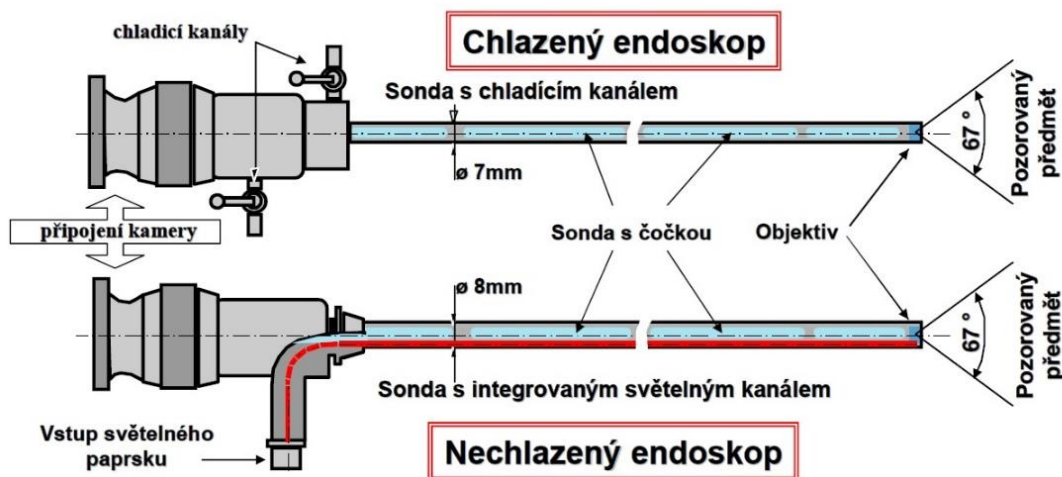
1.7 Zobrazovací metody

Abychom byli schopni opticky pozorovat děje ve spalovacím prostoru motoru a proces tvoření palivové směsi, můžeme použít dva různé přístupy. Jedním z přístupů je vytvoření průhledného spalovacího prostoru tzv. transparentního motoru. Transparentní motor je uspořádán koncepčně stejně jako běžný motor, ale má průhledné dno pístu nebo stěnu válce vyrobené z odolného safírového skla, které dobře odolává otěru a vysokým teplotám. Řez transparentním motorem je zobrazen na obrázku č. 15.



Obrázek 15: Schéma motoru s průhledným dnem pístu [17].

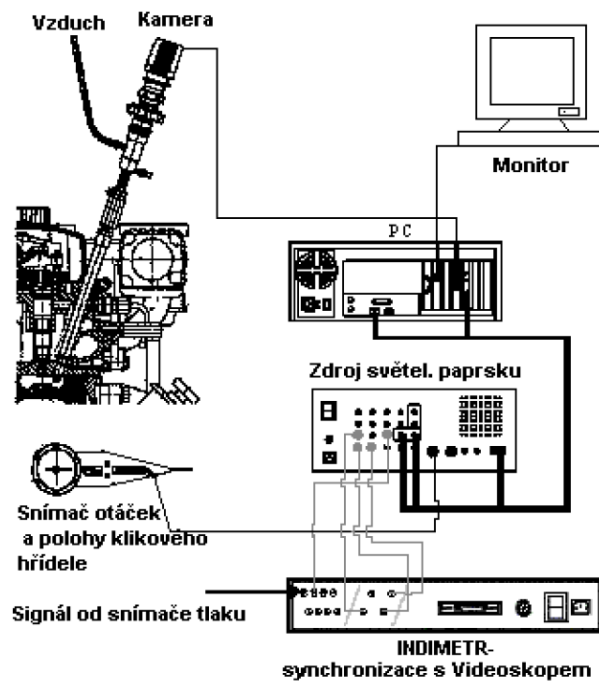
Druhým přístupem k pozorování dějů ve válci motoru je použití endoskopické techniky. Endoskop se skládá z kamery, sondy s integrovaným světelným kanálem a objektivu. Endoskopy je možné použít chlazené nebo nechlazené. Nechlazený endoskop se používá pro sledování dějů za nízkých teplot. Chlazený endoskop je možné použít pro sledování dějů za vysokých teplot např. ve spalovacím prostoru, protože je vybaven chladičím kanálem, který zabrání jeho zničení. Chlazený a nechlazený endoskop jsou zobrazeny na obrázku č. 16.



Obrázek 16: Chlazený a nechlazený endoskop [17].

Vizualizační techniku můžeme použít k různým oblastem pozorování spalování, vstřikování, přípravy směsi a pohybů součástí motoru. U spalování můžeme pozorovat předstih zážehu, šíření plamene, teplotu plamene a zapalovací jiskru. Viditelné jsou také oblasti vstřiku paliva, srážky paliva na stěnách potrubí a směr vstřiku. Co se týče přípravy směsi, můžeme pozorovat smáčení stěn palivem, stříky do sacího kanálu a vývoj vstřiku.

Měřicí vizualizační technika byla ověřena v práci „Vizualizace vstřikování paliva do sacího potrubí pro výzkum zážehových motorů“ [19] a „Vstřikování paliva do sacího kanálu při nestacionárních dějích“ [22], kde byl použit endoskop s integrovaným světelným kanálem od firmy AVL Vision Scope, jehož schéma je zobrazeno na obrázku č. 17. Pozorování tímto přístrojem je možné v úhlu 30, 70 a 90 stupňů se zorným úhlem 67 stupňů.



Měřicí soustava:

- PC - Intel Pentium III
- Monitor 17"
- CCD kamera
(PCO PixelFly 640x480 pixel)
- Endoskop
 - vzduchem chlazený (4 mm),
 - nechlazený se světelným paprskem (7 mm)
- Zdroj světelného paprsku
- Sním ač otáček AVL 364C/364X

Obrázek 17: Schéma zapojení endoskopu firmy AVL vision scope [18].

2 Termodynamické výpočty odpařování paliva a směšování se vzduchem

2.1 Vypařování

Vypařování je fyzikální jev, při kterém se vlivem tepla uvolňují molekuly nejtěkavějších složek paliva. Při vypařování se nad palivovým filmem vytvoří tenká vrstva nasycených par, které jsou strhávány proudem vzduchu vytvořeného pod tlakem do válce [20].

Při difuzi dochází k ochlazení vypařující se kapaliny, jelikož se z paliva oddělují molekuly snižující její celkovou vnitřní energii a tím i její teplotu. Molekuly, které se odpaří rychleji, ochlazují molekuly, které zůstaly ještě neodpařeny, a proto je potřeba dodat další teplo. Toto teplo se nazývá skupenské teplo vypařování a je popsáno rovnicí (4) [20].

$$L_v = l_v \cdot m \quad (4) \quad [20]$$

2.2 Rychlost vypařování

Rychlost vypařování závisí na mnoha faktorech a těmi jsou tlak a teplota prostředí, hustota paliva, plocha odpařovací hladiny a koncentrace par nad kapalinou.

Při nižším tlaku a vyšší teplotě se palivo odpařuje rychleji, protože vlivem tepla slábnou existující síly mezi molekulami a vlivem tlaku dochází k varu paliva dříve. To se pak vypařuje v celém objemu. S vyšší hustotou mají látky silnější mezimolekulární vazby, které je během vypařování nutné překonat, a proto se látky s vyšší hustotou odpařují hůře než látky s hustotou nižší. Odpařování také závisí na velikosti plochy, ze které se palivo odpařuje. Děje se tak z důvodu Fickova zákona, který je popsán rovnicí (5). Čím je větší plocha odpařované kapaliny, tím je rychlost odpařování vyšší [20].

$$\frac{N_A}{A} = -\frac{D_g}{R \cdot T} \cdot \frac{dp_A}{ds} \quad (5) \quad [20]$$

Dalším faktorem, který ovlivňuje rychlost vypařování, je koncentrace par nad kapalinou. Difuze je děj, při kterém se vyrovnávají koncentrace a jedna látka difunduje do druhé. Nachází-li se nad palivovým filmem páry s vysokou koncentrací již odpařené látky, difuze probíhá pomalu a zpomalí se tím i samotné odpařování. Tento jev lze popsat rovnicí (6).

$$n_1 = \frac{D_{12}}{R \cdot T} \cdot \frac{p_{1F} - p_{1I}}{s} = D_{12} \cdot \frac{c_{1F} - c_{1I}}{s'} \quad (6) \quad [20]$$

Základním zdrojem energie pro pohon motoru je spalné teplo palivové směsi. Aby došlo ke spolehlivému zážehu paliva u zážehových motorů, musí být palivová směs velice blízko směsi stechiometrické. Zážehový motor je řízen škrticí klapkou, která při přivírání způsobuje menší proud vzduchu do spalovací komory a ten se mísí s menším objemem paliva. Tato skutečnost způsobuje menší účinnost oproti motorům vznětovým, kde palivová směs hoří ve stechiometrickém poměru pouze na čele plamene a přívod směsi může být libovolně řízen podle zatížení. Při proudění směsi do spalovací komory vznikají turbulence důsledkem velkých rychlostí, které podporují rychlost hoření při difúzním plamenu. V zážehových jednotkách je tento efekt nežádoucí, protože se ve směsi tvoří tzv. kapsy shořelé a neshořelé směsi.

2.3 Vypařování paliva

Vypařování benzínu je velmi složitý proces už jen díky tomu, že benzín je směs uhlovodíkových řetězců s různou délkou a různou teplotou odpařování. Proto nelze potřebné teplo určit triviálním výpočtem.

Ke skutečné hodnotě se můžeme přiblížit výpočtem, pokud uvažujeme, že bude benzín jednosložková látka. V takovémto případě můžeme postupovat tak, že benzín

ohřejeme z výchozí teploty t_1 na přesně stanovenou teplotu t_v , kdy se začne odpařovat, a poté je potřeba dodat energii potřebnou k vypařování l_v .

$$Q = Q_1 + L_v = m_p \cdot c_v \cdot (t_v - t_1) + m \cdot l_v \quad (7)$$

m ... hmotnost paliva

t_1 ... počáteční teplota paliva

t_v ... teplota vypařování (varu) vody

c_v ... měrná tepelná kapacita paliva

l_v ... měrné skupenské teplo vypařování

Benzín se skládá ze tří hlavních sloučenin, a to sloučenin uhlíku, vodíku a kyslíku v hmotnostním poměru 0,851 : 0,134 : 0,015. Pro přesnější výpočet benzín rozdělíme na tyto tři složky a uvažujeme, že celkové teplo pro odpaření bude rovno součtu dílčích výsledků pro složky [21].

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + L_{v1} + Q_2 + L_{v2} + Q_3 + L_{v3} \\ &= m_{s1} \cdot c_{vs1} \cdot (t_{vs1} - t_1) + m \cdot l_{vs1} + m_{s1} \cdot c_{vs1} \cdot (t_{vs1} - t_1) + m \cdot l_{vs1} \\ &\quad + m_{s1} \cdot c_{vs1} \cdot (t_{vs1} - t_1) + m \cdot l_{vs1} \end{aligned} \quad (8)$$

Uvažujeme-li, že před vstřikováním ohříváme 1 kg paliva z teploty 20 °C na 30 °C a výparné teplo benzínu je L_v je 419 kJ/kg, můžeme rovnici přepsat do tvaru znázorněném rovnicí (9). Předpokládáme, že se palivo neodpařuje, aby mohlo být odměřováno a dávkováno do motoru jako kapalné.

$$\begin{aligned} Q_{20-30} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + L_v \\ &= m_c \cdot c_{vc} \cdot (t_{vc} - t_1) + m_H \cdot c_{vH} \cdot (t_{vH} - t_1) + m_{s1} \cdot c_{vs1} \cdot (t_{vO} - t_1) \\ &\quad + m \cdot L_v \\ &= 0,851 \cdot 8,517 \cdot (30 - 20) + 0,134 \cdot 14,304 \cdot (30 - 20) + 0,015 \cdot 1 \\ &\quad \cdot (30 - 20) = 91,8 \frac{kJ}{Kg} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\eta = \frac{Q_{20-30}}{H_u} \cdot 100 = \frac{91,8}{42000} \cdot 100 = 0,218 \% \quad (10)$$

Porovnáním s dolní výhřevností dostaneme teoretická procentuální zlepšení dodaného tepla, což je 0,218 %. Předpokládá se i lepší odpařování směsi, které závisí na teplotě.

Teplo, které je potřeba dodat k odpaření v hlavě válců je možné spočítat z rovnice (11). Předpokládáme teplotu sacího kanálu v hlavě válců 95 °C. Hodnota teploty byla naměřena na 3válcovém motoru s vnější tvorbou směsi.

$$\begin{aligned}
 Q_{30-95} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + L_v \\
 &= m_c \cdot c_{vc} \cdot (t_{vc} - t_1) + m_H \cdot c_{vH} \cdot (t_{vH} - t_1) + m_{s1} \cdot c_{vs1} \cdot (t_{v0} - t_1) \\
 &\quad + m \cdot L_v \\
 &= 0,851 \cdot 8,517 \cdot (95 - 30) + 0,134 \cdot 14,304 \cdot (95 - 30) + 0,015 \cdot 1 \\
 &\quad \cdot (95 - 30) + 1 \cdot 419 = 1015,7 \frac{kJ}{Kg} \quad (11)
 \end{aligned}$$

Toto teplo palivová směs odebere z povrchu stěn sacího kanálu, horní strany sacích ventilů a dříků. V případě, že by palivo bylo ohřáto na tuto teplotu již ve výměníku, jako je tomu u VFI systémů, došlo by ke zvýšení přivedeného tepla součtem předchozích rovnic.

$$Q_{20-95} = Q_{20-30} + Q_{30-95} = 91,8 + 1015,7 = 1107,5 \text{ kJ/Kg} \quad (12)$$

$$\eta = \frac{Q_{20-95}}{H_u} \cdot 100 = \frac{1107,5}{42000} \cdot 100 = 2,64 \% \quad (13)$$

2.4 Energie palivové směsi

Před samotným procesem hoření jsou ve válci výchozí látky neboli reaktanty, které se složitými chemickými rovnicemi a pochody přemění na produkty. Z prvního zákona termodynamiky, který říká, že přírůstek vnitřní energie soustavy se rovná součtu práce vykonané okolními tělesy působícími na soustavu určitými silami a tepla Q odevzdaného okolními tělesy soustavě, můžeme vyvodit rovnici (14).

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \quad (14)$$

Jestliže spalování probíhá při konstantním objemu, je změna vnitřní energie rovna rozdílu vnitřní energie produktů a reaktantů viz rovnice (15).

$$U_P - U_R = \Delta U \quad (15)$$

Změna reakční entalpie je rovna rozdílu entalpií produktů a reaktantů při konstantním tlaku, což je popsáno rovnicí (16).

$$H_P - H_R = \Delta H \quad (16)$$

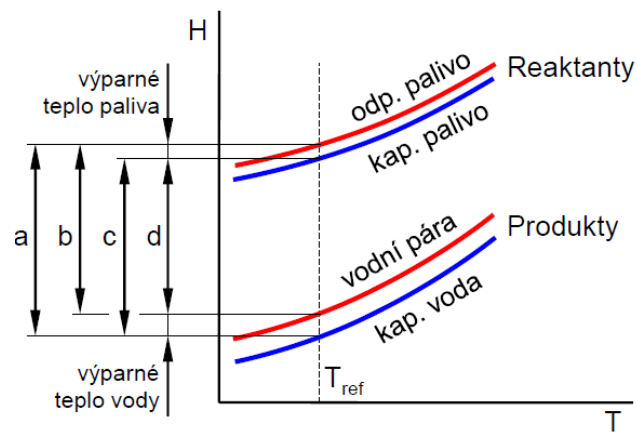
Abychom věděli, jakou energii v palivu disponujeme, zavádí se pojem výhřevnost paliva. Aby nebyla situace jednoduchá, rozlišujeme několik možností výhřevností, které můžeme uvažovat: a) horní výhřevnost plynného paliva

b) dolní výhřevnost plynného paliva

c) horní výhřevnost kapalného paliva

d) dolní výhřevnost kapalného paliva.

Pro benzínový motor je výhřevnost nejmenší. Platí pro něj dolní výhřevnost kapalného paliva, což znamená, že musíme vynaložit energii pro odpaření paliva a kondenzace plynů proběhne až ochlazením ve výfukovém potrubí. Graf velikosti různých výhřevností je zobrazen na obrázku č. 18. Dolní výhřevnost zmiňovaného benzínu se pohybuje v rozmezí 42–44 MJ/kg. Reakční entalpie i výparné teplo paliva bývá kolem - 2 MJ/kg [21].



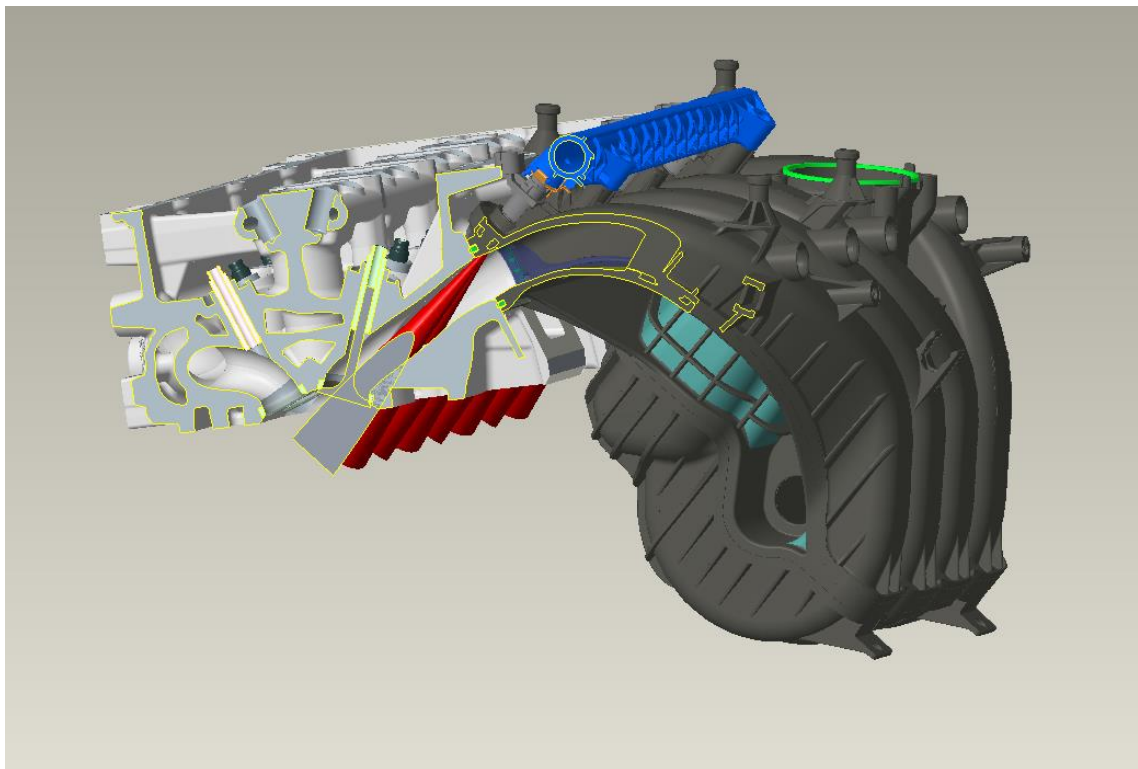
Obrázek 18: Výhřevnosti kapalných a plynných paliv [21].

3 Konstrukce experimentálního modulu vícebodového vstřikování paliva

Experimentální modul umožní měnit podmínky pro dokonalé odpaření paliva a zajistit tak optimální tvorbu směsi. Modul pro tvorbu směsi bude umožňovat změnu počtu vstřikovacích ventilů a změnu směrové orientace výstřiku. Předpokládá se také ohřev paliva pro lepší odpaření na stěnách sacího kanálu a co největší zachování průřezu sacího kanálu. Modul bude vložen mezi hlavu válců a sací potrubí motoru.

3.1 Původní provedení

Aby bylo možné vycházet z určitých základních hodnot, sestavil jsem původní rozložení hlavy válců motoru se vstřikovačem a sacím potrubím. Uspořádání původního provedení umožňuje zobrazit nastřikovanou oblast, a to z více pohledů pro lepší představu prolnutí naznačeného paprsku paliva a sacího kanálu. Pohled na řez hlavy válců 1.6 MPI se stávajícím sacím potrubím je zobrazený na obrázku č. 19.

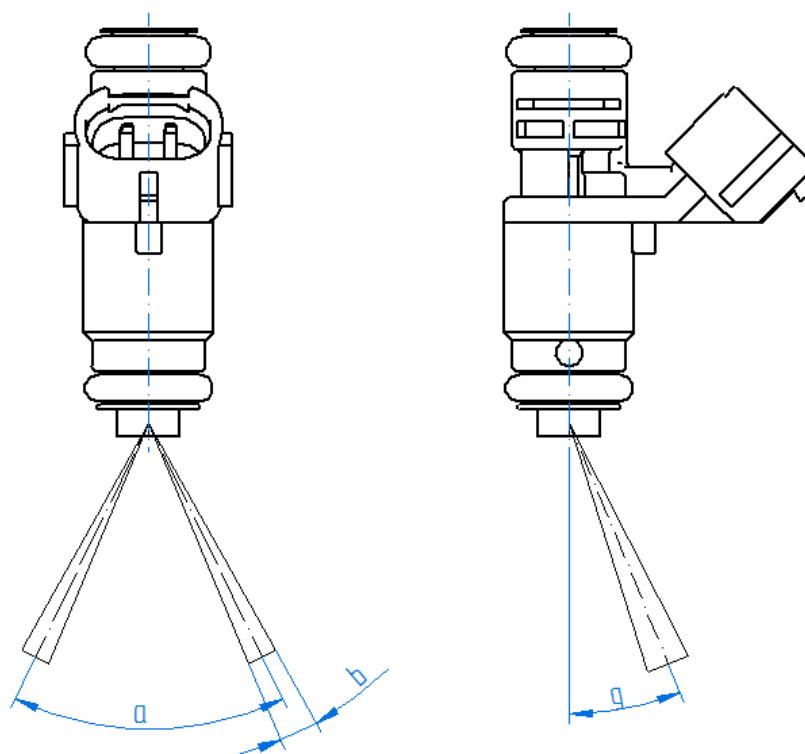


Obrázek 19: Pohled na původní sestavu motoru 1.6 MPI-řez v ose sacího ventilu [vlastní tvorba].

Použitý vstřikovač pro toto uspořádání s označením vstřikovač 1 vstřikuje dva proudy paliva, které jsou dle tabulky č. 2 a obrázku č. 20 od sebe natočeny o 18 stupňů a úhel rozprášení paliva je 12 stupňů. Z tohoto obrázku vyplývá, že vstřikovač je uložen v sacím potrubí a vybráním v hlavě válců stříká do obou sacích kanálů na rozmezí spodní hrany ventilu a spodní strany kanálu.

	Typ	Značení	a±4	b±4	g±4
Vstřikovač 1 (původní)	Deka 7	RAL 5022	18	12	0
Vstřikovač 2 (náhrada)	Deka 7	RAL 3020	0	15	0
Vstřikovač 3 (návrh)	Deka 7		0	12	0
Vstřikovač 4 (návrh)	Deka 7		5	2,5	0

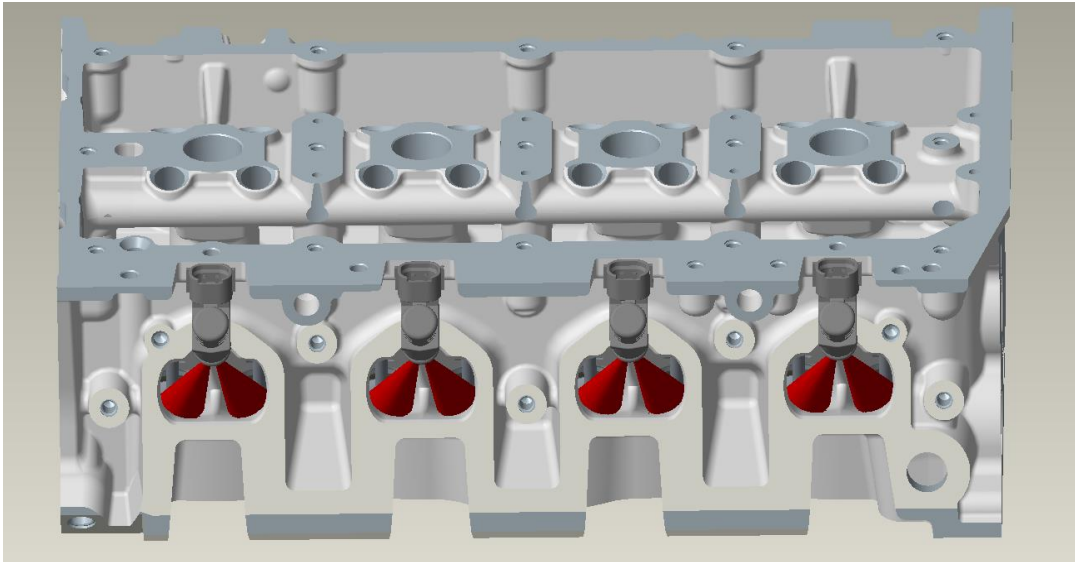
Tabulka 2: Značení vstřikovačů a úhly natočení pro motory MPI.



Obrázek 20: Popis úhlů vstřikovače pro motory MPI [vlastní tvorba].

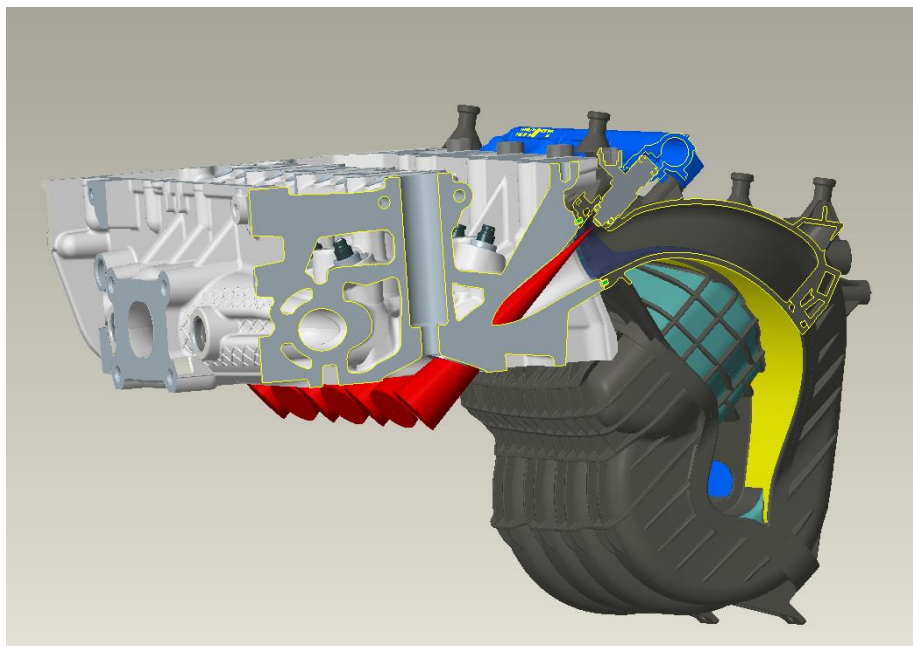
Pohled na samotnou hlavu motoru se vstřikovači je vyobrazen na obrázku č. 21. Červenou barvou je zobrazeno palivo vstřikované do sacího kanálu. Z tohoto obrázku je patrné, že prostor pro jeden vstřikovač je v hlavě realizován tvarem sacího kanálu. Dva vstřikovače při stejném vstupním tvaru kanálu tedy budou muset být umístěny níže a

budou zužovat průřez pro nasátý vzduch. Kužely paliva jsou zobrazeny pouze orientačně a jejich tvar se může lišit, a to hlavně díky odpařování a penetraci s okolím. Reálný rozptyl vstříkovaného paliva již byl pozorován a popsán v diplomové práci Karla Čecha: Vizualizace vstříkovaní paliva do sacího potrubí pro výzkum zážehových motorů, 2016 TUL [19].

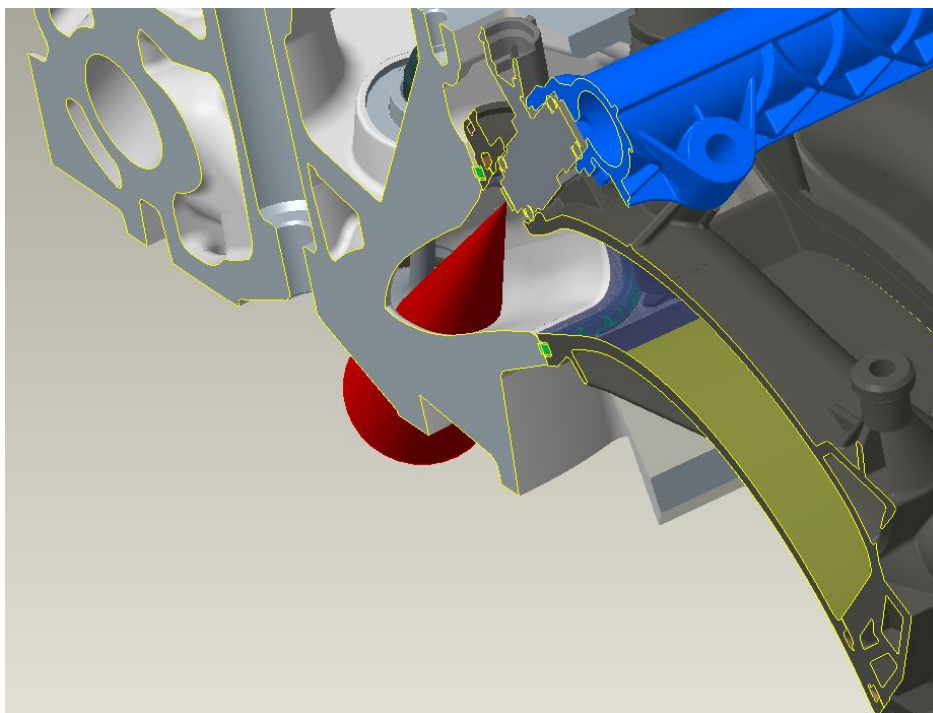


Obrázek 21: Hlava motoru 1,6 MPI se zobrazenými vstříky paliva [vlastní tvorba].

Na obrázku č. 22 je zobrazen řez rovinou vstřikovače a přepážkou, která rozděluje sací kanál na dva – pro každý sací ventil jeden. Detail v řezu rovinou vstřikovače uloženého symetricky ve středu kanálu je zobrazen na obrázku č. 23.

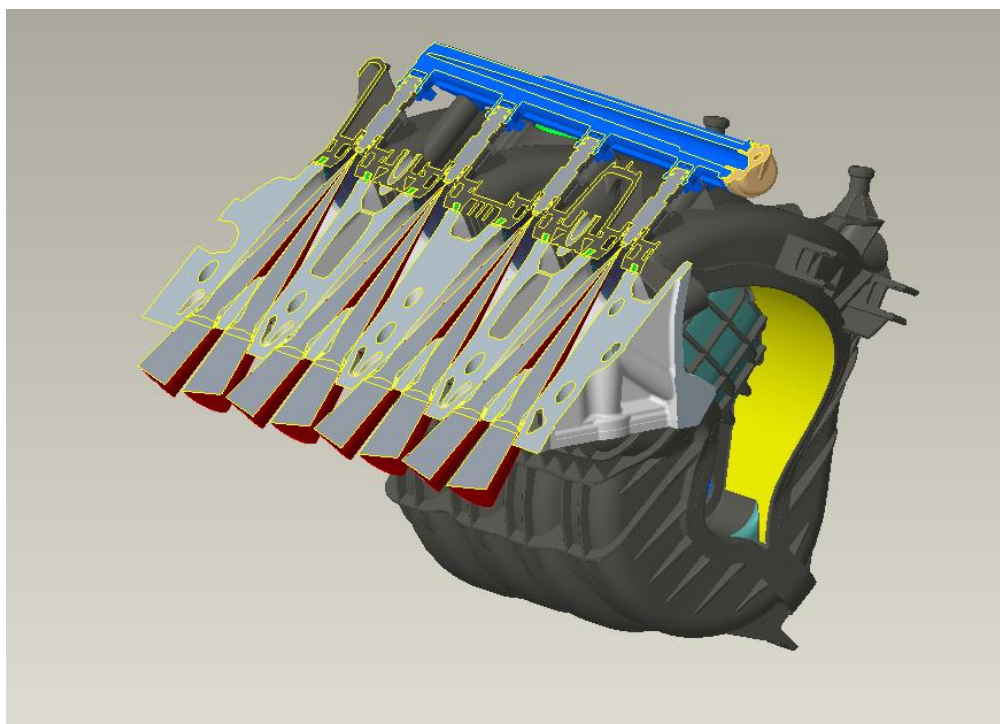


Obrázek 22: Řez rovinou přepážky sacího kanálu a vstřikovače [vlastní tvorba].

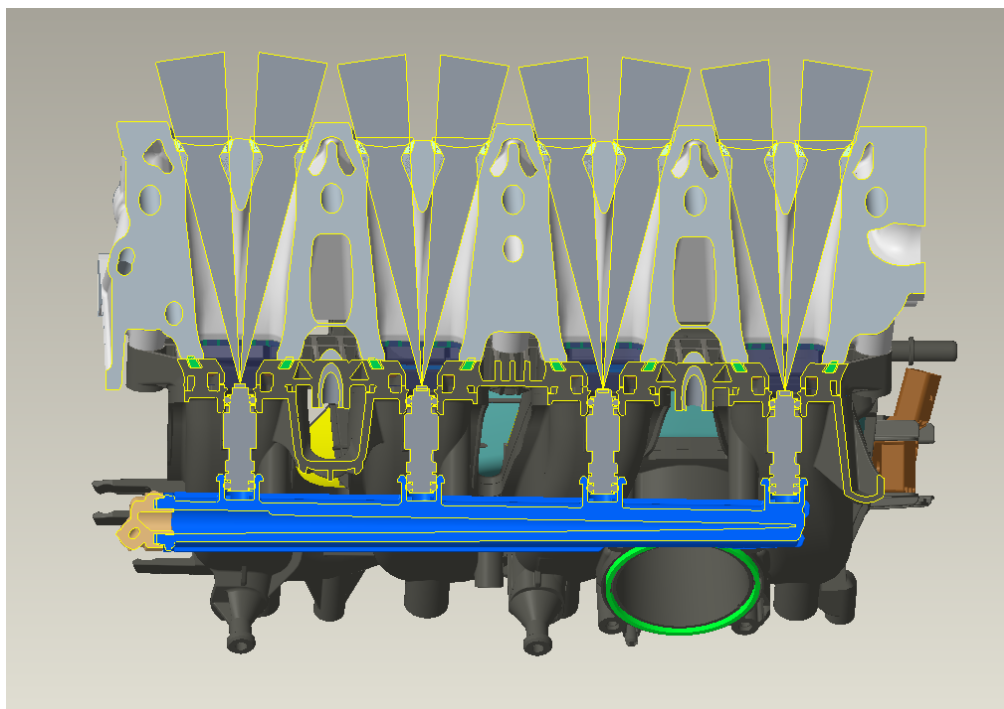


Obrázek 23: Detail řezu rovinou přepážky sacího kanálu [vlastní tvorba].

Na obrázku č. 24 a 25 je zobrazen podélný řez všemi vstřikovači. Úhel rozevření vstřikovačů je 18 stupňů. Je patrné, že dochází k nástřiku stěn kanálu až v jeho ústí. Teplota hlavy by měla být měla být 94 °C.



Obrázek 24: Řez rovinou umístěnou všemi vstřikovači [vlastní tvorba].

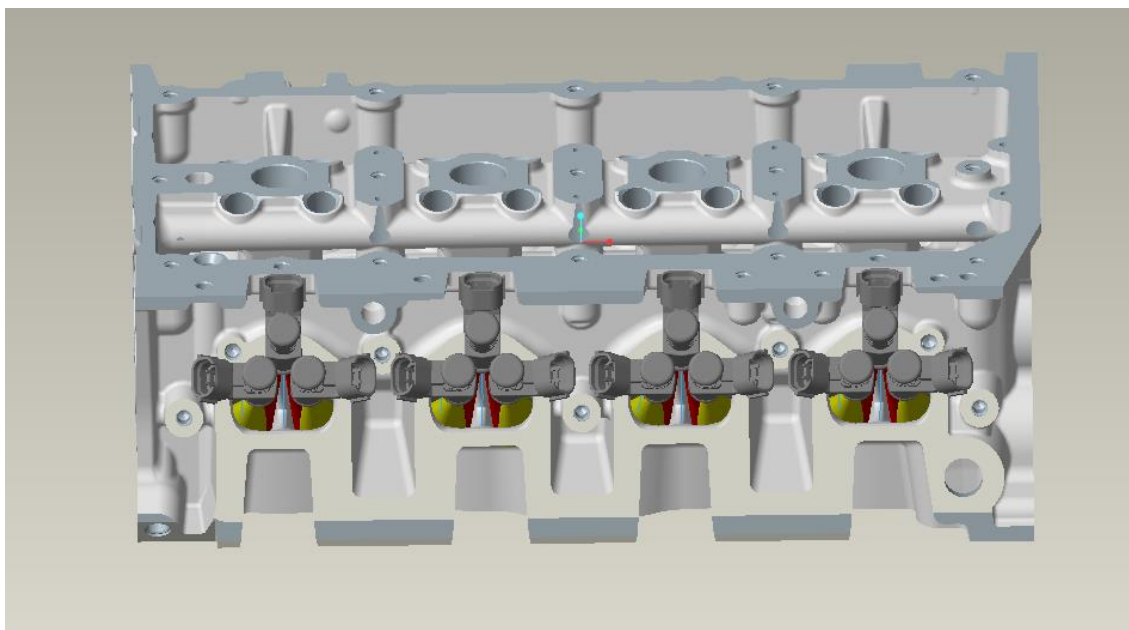


Obrázek 25: Řez rovinou umístěnou všemi vstřikovači. Pohled shora [vlastní tvorba].

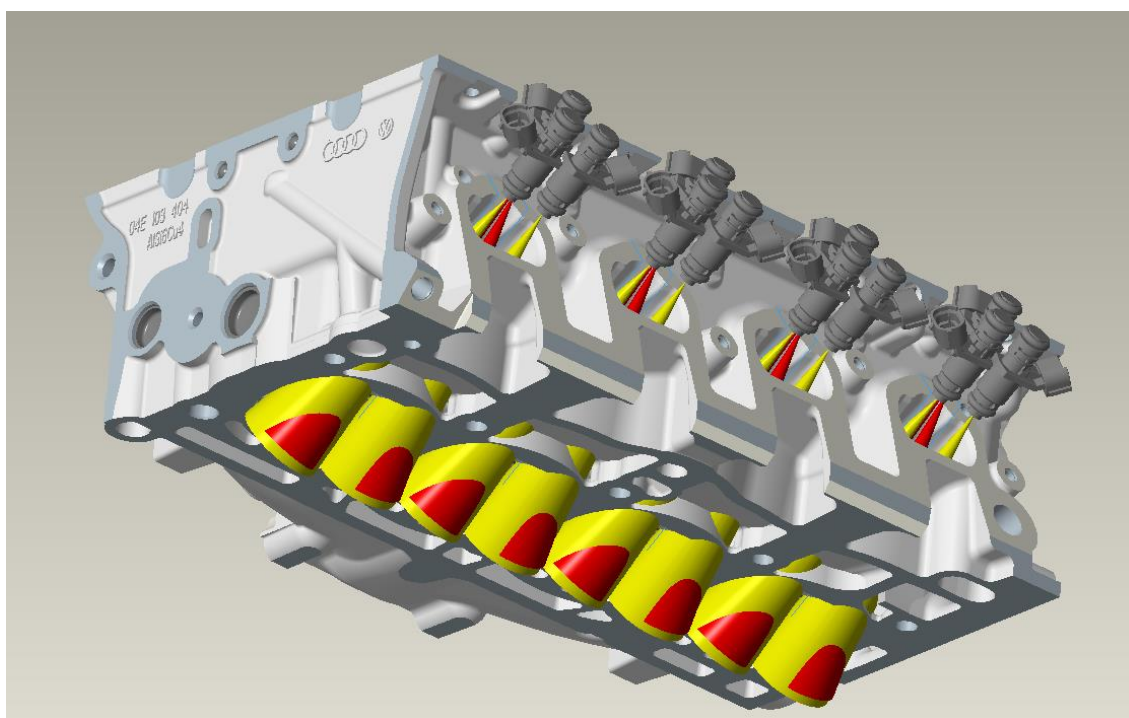
3.2 Nové řešení umístění více vstřikovačů

Protože hlava motoru je pro nás neměnná, nemůžeme v této chvíli upravovat tvar vstupu sacího kanálu pro dva vstřikovače. Proto musí být poloha vstřikovačů upravena. Z tabulky hodnot pro různé druhy vstřikovačů jsem vybral z mého pohledu ten nejvhodnější pro jednoproudé vstřikování. Vstřikovač s označením vstřikovač 2 dokáže vstřikovat ve směru své osy a rozptyl kužele je 15 stupňů.

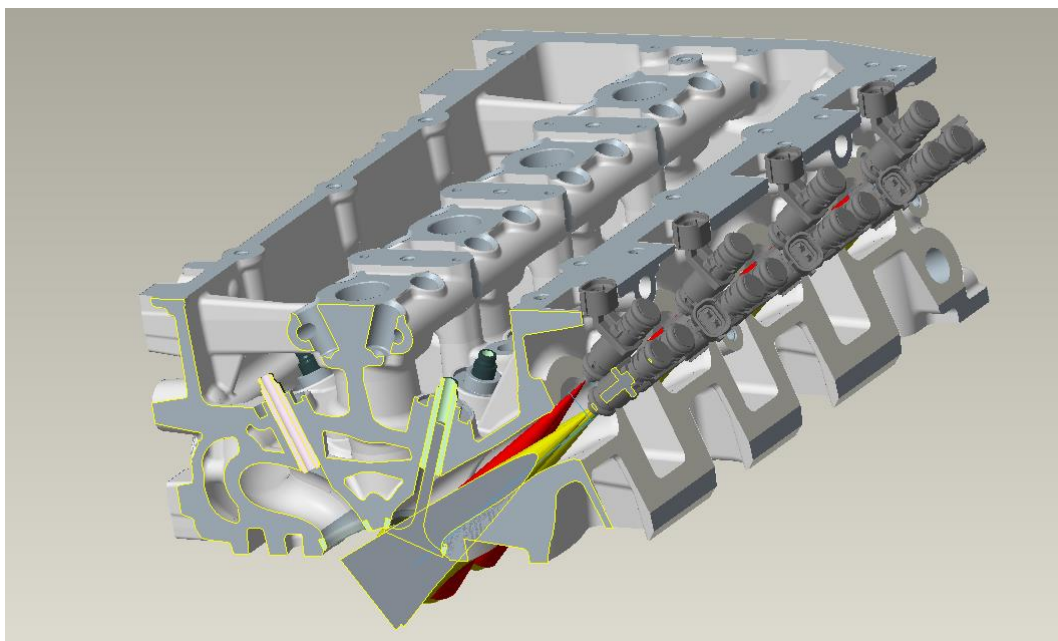
Umístění tří vstřikovačů na jeden válec je z hlediska zástavby možné, ale z důvodu malého prostoru k experimentálním změnám poloh a změny polohy vstřikovačů, které by museli vstřikovat velkou částí na stěny kanálu, nevýhodné. Navíc funkce stávajícího vstřikovače nepředstavuje zvláštní výhodu z hlediska variability řešení. Obrázky číslo 26, 27 a 28 zobrazují návrh se třemi vstřikovači. Výběr použitého vstřikovače, pro který byla v této práci vytvořena zástavba, by mohl být snadno nahrazen i jiným typem vstřikovače s jinou geometrií výstřiku paliva viz tabulka č. 2.



Obrázek 26: Zobrazení hlavy motoru s návrhem tří vstřikovačů [vlastní tvorba].



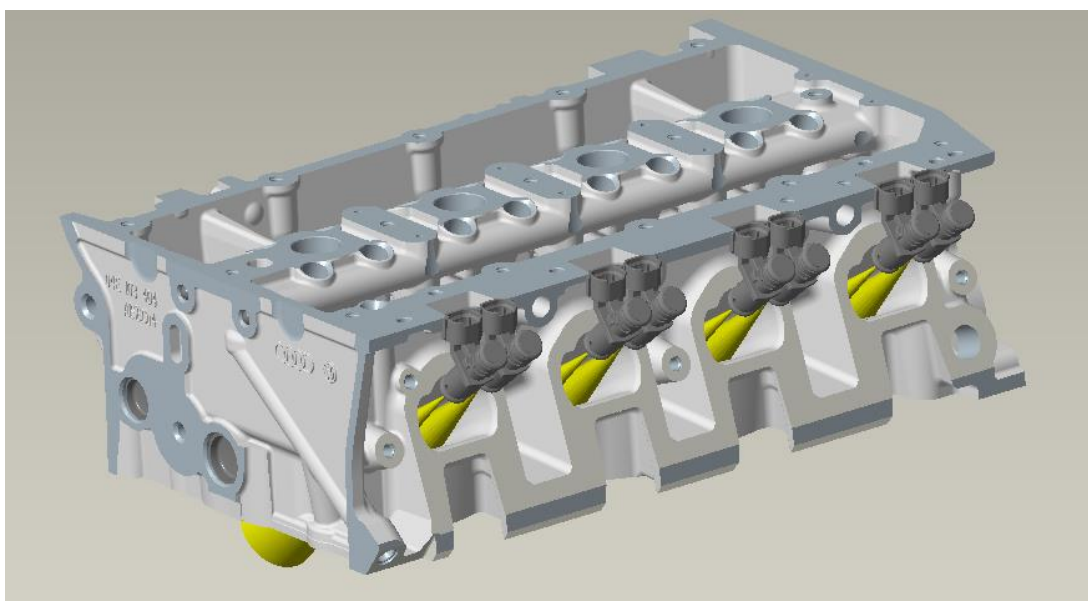
Obrázek 27: Pohled na hlavu se třemi vstřikovači zespodu [vlastní tvorba].



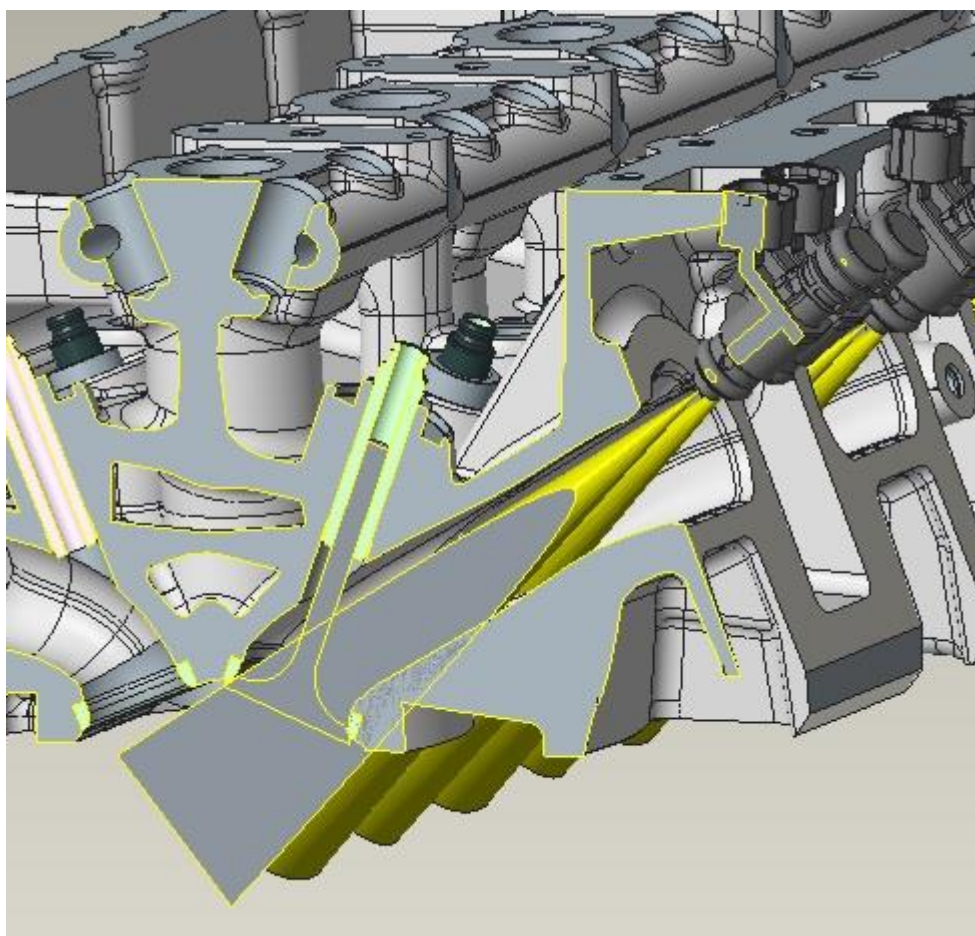
Obrázek 28: Řez hlavou se třemi ventily rovinou umístěnou 20 mm od osy prostředního vstřikovače [vlastní tvorba].

3.3 Optimální řešení dvou vstřikovačů

Odebráním původního vstřikovače lze dvojici injektorů umístit ve výhodnější poloze, což velmi pozitivně ovlivní možnosti volby rozptylového kužele vstřikovaného paliva. V důsledku většího rozptylu vstřikovače je nastříkována celá plocha sacího ventilu a je minimální nástřik stěn kanálu, což je velmi výhodné z důvodu tvorby směsi i při velkém zatížení. Takto navržené řešení je zobrazeno na obrázku č. 29 a obrázku č. 30.



Obrázek 29: Pohled na hlavu motoru s návrhem umístění dvou vstřikovačů [vlastní tvorba].



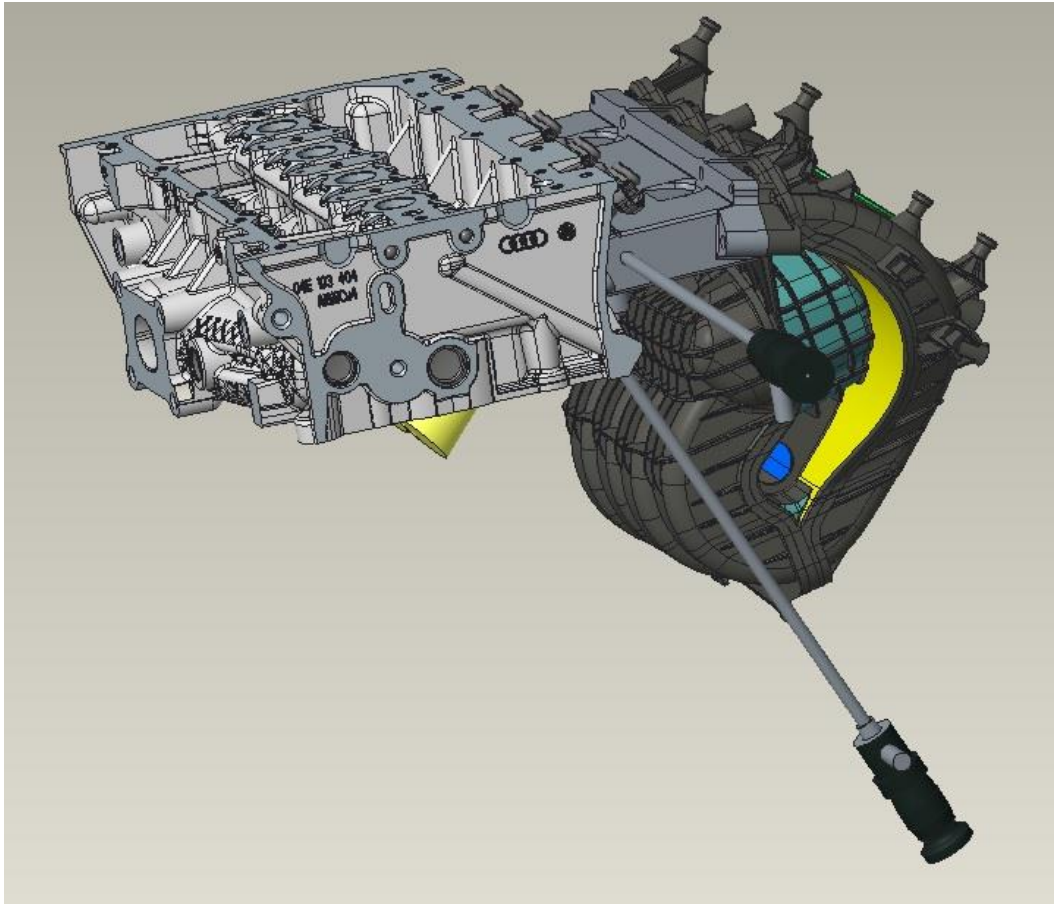
Obrázek 30: Návrh umístění dvou vstřikovačů (řez osou sacího ventilu) [vlastní tvorba].

Tato varianta byla vybrána jako vyhovující a trochu upravena pootočením vstřikovačů od sebe, aby vzniklo více místa. Neoptimálnější pozice byla v momentě, kdy byl vstřikovač vůči původnímu provedení natočen o 2 stupně k vodorovné poloze a posunut o 3 milimetry níž, než byl vstřikovač původní. Aby byly vstřikovače natočeny do obou větví sacích kanálů, je mezi nimi úhel 7,8 stupňů.

3.4 Konstrukce palivového modulu

V této části práce je popsána konstrukce všech dílů, které by měly sloužit k umístění pozorovací techniky, nastavitelných vstřikovačů a prvku pro výhřev sacího traktu. Konstrukční úprava se týká nepřepřlňovaného zážehového čtyřválcového motoru se zdvihovým objemem 1598 cm³. Sestava hlavy válců, palivového modulu a sání je zobrazena na obrázku č. 31. Hlava válců používá šestnáctiventilovou technologii. Dva ventily jsou sací a dva výfukové. Na obrázku jsou také vidět dva endoskopy, jeden je

vložen přímo do hlavy válců a druhý do palivového modulu. Ty zajišťují pohled dovnitř a sledování procesu tvorby směsi.

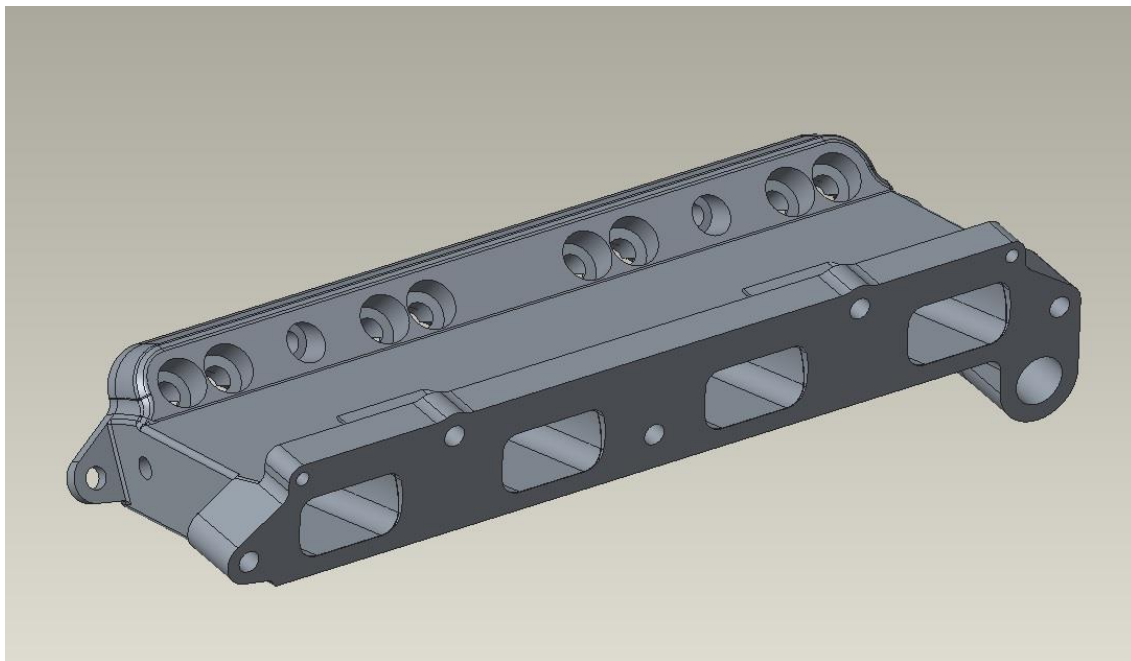


Obrázek 31: Pohled na celkovou sestavu hlavy motoru, modulu pro uchycení vstřikovačů a sacího modulu včetně umístění endoskopu dle [19].

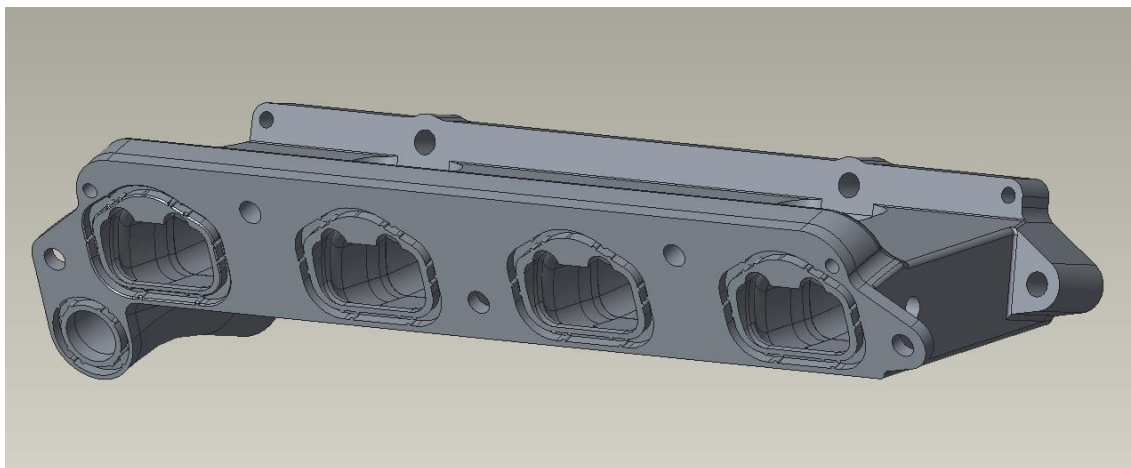
3.4.1 Těleso palivového modulu

Těleso palivového modulu zabezpečuje uložení vstřikovačů, techniky pro vizualizaci, čidla měření teploty a propojuje sací potrubí s hlavou válců motoru. Materiál použitý pro konstrukci tělesa volím podeutektickou vytvrditelnou slitinu hliníku $AlSi6Cu4$, aby byl materiál co nejvíce podobný hlavě válců. Zároveň má materiál dobrou tepelnou vodivost, což je výhodné z důvodu rovnoměrného rozvedení tepla a předehtívání přiváděného vzduchu. Těleso by mělo zajišťovat stejný nebo alespoň co nejvíce podobný průtok vzduchu a co nejméně ovlivňovat proudění sacím potrubím. Pro uložení vstřikovače jsou v tělese umístěny dva montážní otvory na jeden válec pro excentrické a pod různým úhlem vrtané výměnné vložky. Z levé strany je vyvrtán otvor pro endoskop pro pozorování probíhajících dějů. Těleso je zobrazeno na obrázku č. 32, kde je zobrazen pohled na přírubu ze strany sacího modulu a na obrázku č. 33 je těleso zobrazeno ze strany příruby hlavy motoru. Protože se nepředpokládá výroba více

kusů, není těleso konstruováno jako odlitek, neboť náklady na výrobu formy by byly příliš vysoké. Polotovar tělesa je hliníkový blok o rozměrech 90x130-350, který obroben na pětiosé frézce v příslušných tolerancích dle výrobního výkresu č. V-00.0001.00.



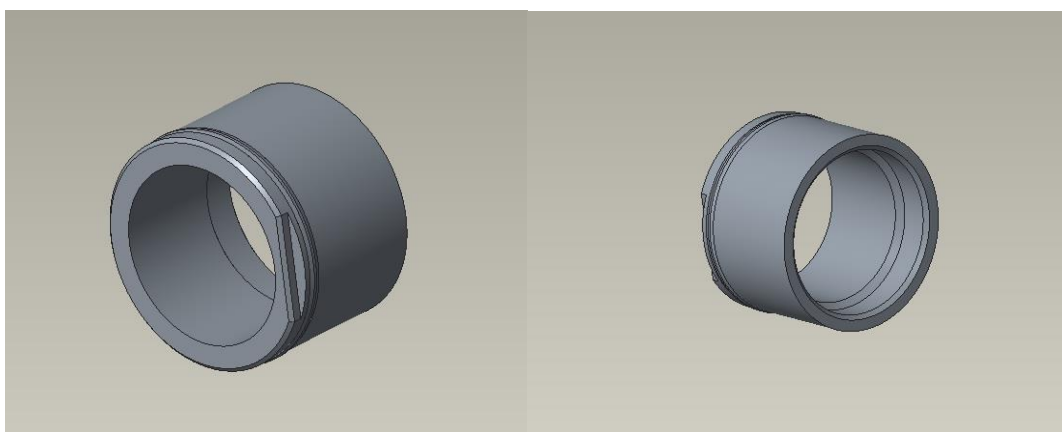
Obrázek 32: Pohled na přírubu ze strany sacího potrubí na těleso uložení vstříkovačů [vlastní tvorba].



Obrázek 33: Pohled na přírubu ze strany hlavy válců motoru na těleso uložení vstříkovačů [vlastní tvorba].

3.4.2 Excentrické vložky

Excentrické vložky realizují uložení a těsnění vstřikovače O-kroužky na vnitřní a na vnější straně. Na vrchní straně budou označeny vyraženým znakem, který konkrétně určí polohu vstřikovače. Rozmezí natočení je 3 stupně od základní polohy, která je dána vrtáním v palivovém modulu. Výměnných vložek bude vždy 8 v jedné sadě pro použití dvou vstřikovačů na jeden válec. Materiálem bude hliníková slitina ČSN EN 6061 z polotovaru tažené tyče dle ČSN 427611 a bude dělen na pásové pile. Vnější průměr a zápich pro těsnění budou obrobena na soustruhu a vnitřní excentrický průměr a dosedací plochy budou frézovány dle výkresu č. V-00.0002.40. Excentrická vložka je zobrazena na obrázku č. 34.



Obrázek 34: Vložka uchycení vstřikovače do palivového modulu [vlastní tvorba].

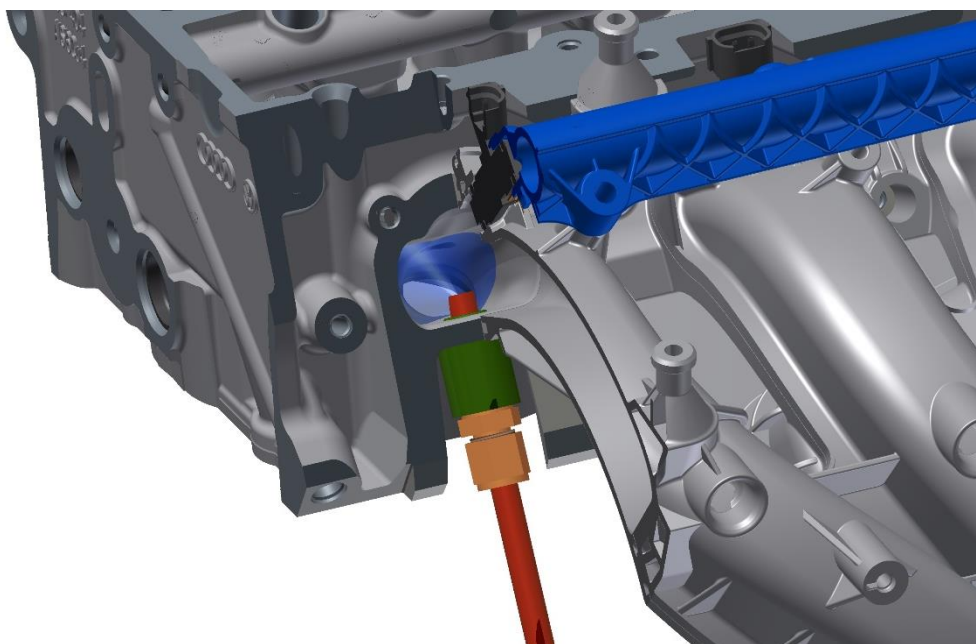
3.4.3 Přívod paliva

Vstřikovače jsou kvůli dobrému přístupu umístěny na horní straně sacího modulu ve výměnném nástavci, aby bylo možné měnit jejich vzdálenost a natočení. Nevýhodou tohoto řešení je potřeba výroby více nástavců při změně úhlu vstřikování a rozteče vstřikovačů. Úhlové odchylky a změna polohy nebude příliš markantní od pozice navržené, což by mělo zajistit dobré výsledky již při zkoušce prvních pár sérií. Vstřikovací lišta nebude použita kvůli proměnné pozici konektorů a přívodu paliva. Palivo o maximální teplotě 28 °C bude přiváděno z tlakové lišty jednotlivým potrubím ke každému vstřikovači zvlášť.

3.4.4 Umístění endoskopů

Protože došlo k mírnému zúžení sacího kanálu a endoskop umístěný v modulu byl ve špatné pozici, rozhodl jsem se, že umístění endoskopu ponechám v hlavě motoru.

Toto uspořádání a jeho pozorování bylo realizováno v roce 2016 Karlem Čechem [19]. Pro endoskop byl vyvrtán otvor se závitem a do něj našroubována dvoudílná vložka pro jeho uchycení. Endoskop pro pohled do sacích kanálů měl sklon 70 stupňů a zorný úhel 67 stupňů, což je znázorněno na obrázku č. 35. Modrým kuželem je naznačen zorný úhel v zástavbě s původním sacím modulem v řezu rovinou procházející osou vstřikovače.



Obrázek 35: Umístění endoskopu do hlavy motoru [19].

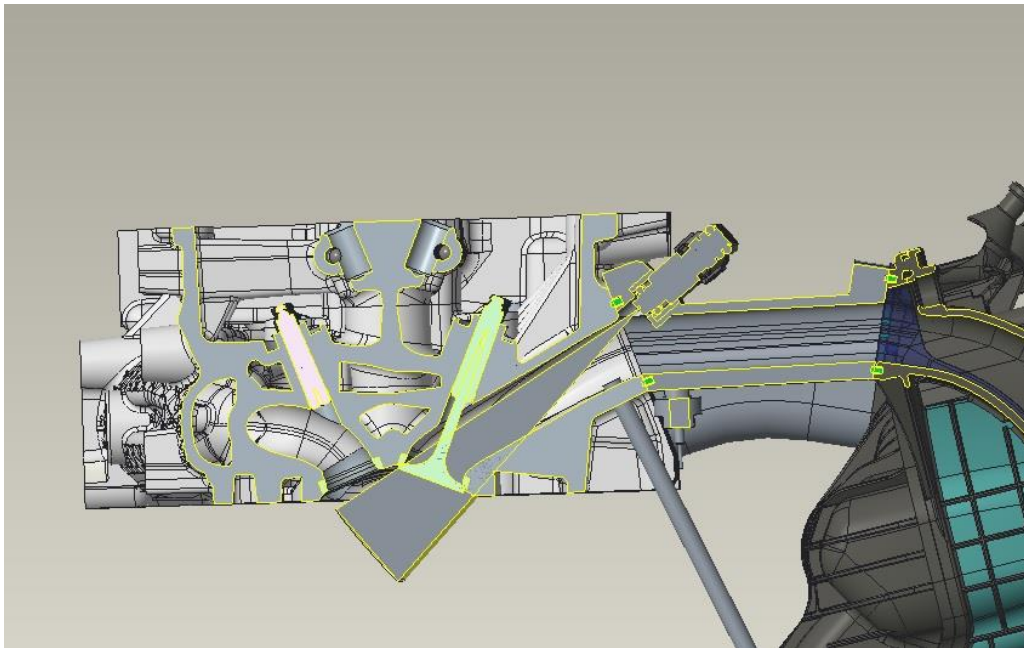
Na obrázku č. 36 vlevo je zobrazen odhad pohledu do sacího kanálu z tohoto endoskopu a vpravo je pak reálný pohled již umístěným endoskopem do hlavy válců získaný z měření. Z tohoto obrázku je patrné, že umístění endoskopu v porovnání s modelem je velmi přesné a endoskop je umístěn velmi dobře.



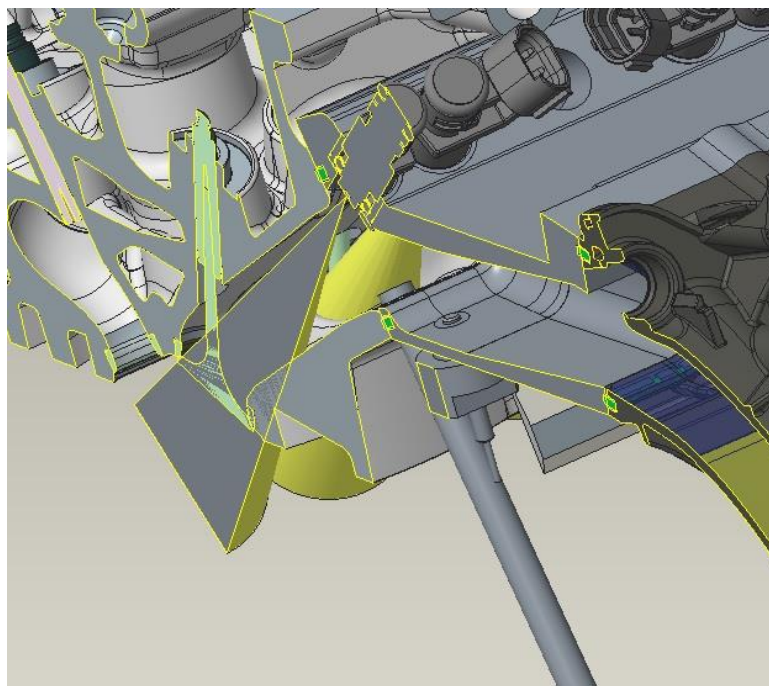
Obrázek 36: Pohled z umístěného endoskopu v hlavě válců [19].

3.4.5 Celková sestava hlavy motoru, modulu uchycení vstřikovačů a produkčního sacího modulu

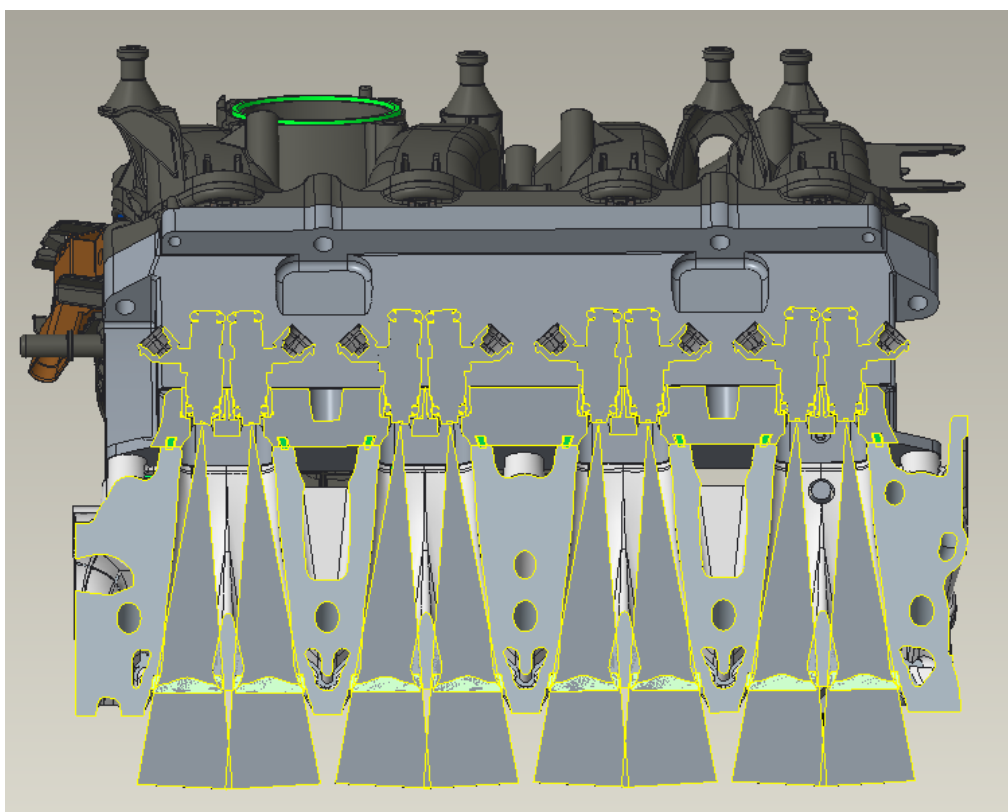
V této kapitole je popsána celková zástavba modulu pro uchycení vstřikovačů. Modul je k hlavě motoru připevněn šrouby a jeho poloha je aretována dvěma kolíky o průměru 5,2 mm H11, které jsou vloženy do otvorů v hlavě motoru. Na obrázku č. 37 je zobrazena celková sestava v řezu rovinou před prvním vstřikovačem. Další pohledy jsou zobrazeny na obrázku č. 38 a č. 39. Pro úplnost byl vypracován sestavný výkres č. V-02.0000.10.



Obrázek 37: Sestava hlavy motoru, modulu uchycení vstřikovačů a sacího modulu v řezu před vstřikovači [vlastní tvorba].

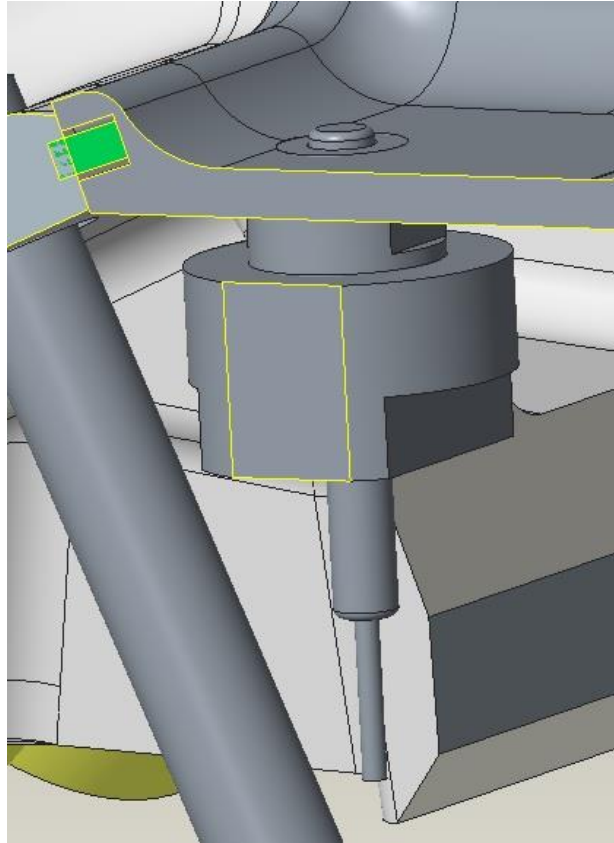


Obrázek 38: Detailní pohled umístění vstřikovačů s kužely rozprášeného paliva [vlastní tvorba].



Obrázek 39: Detailní pohled umístění vstřikovače. Rovina řezu je umístěna osou vstřikovačů [vlastní tvorba].

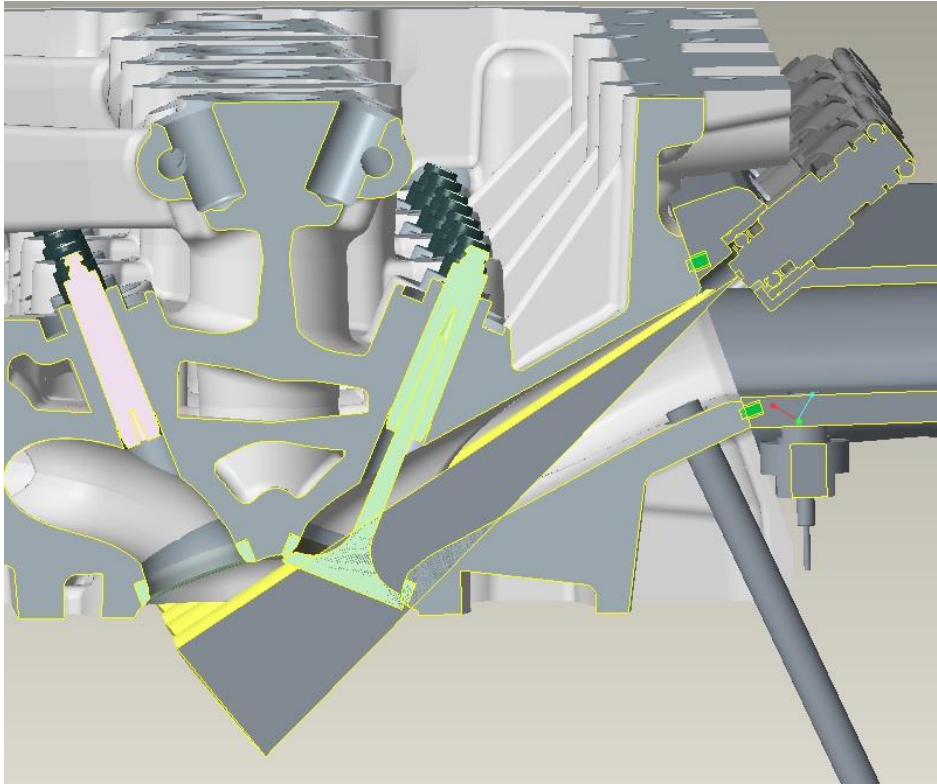
Pro měření teploty je do modulu umístěn termočlánek PT 100, který je schopen měřit v rozsahu teplot (-20) – 450 °C a je zobrazen na obrázku č. 40. Uložen je ve dvoudílné vložce s pryžovým těsněním.



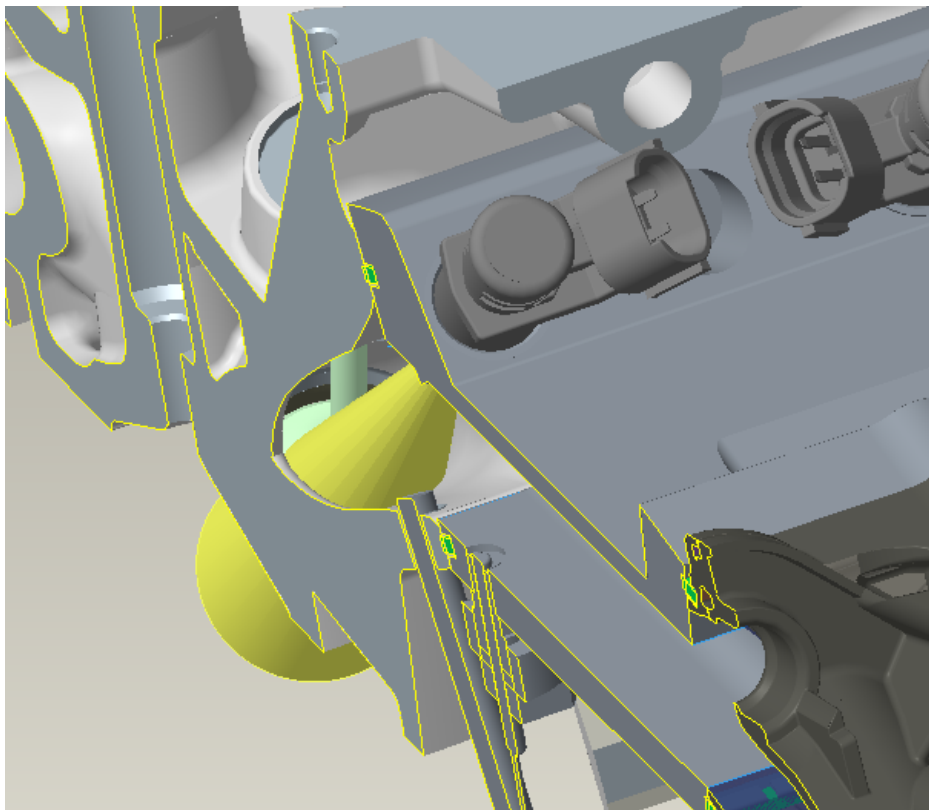
Obrázek 40: Vložka s termočlánekem PT100 [vlastní tvorba].

3.4.6 Použití jiných vstřikovačů

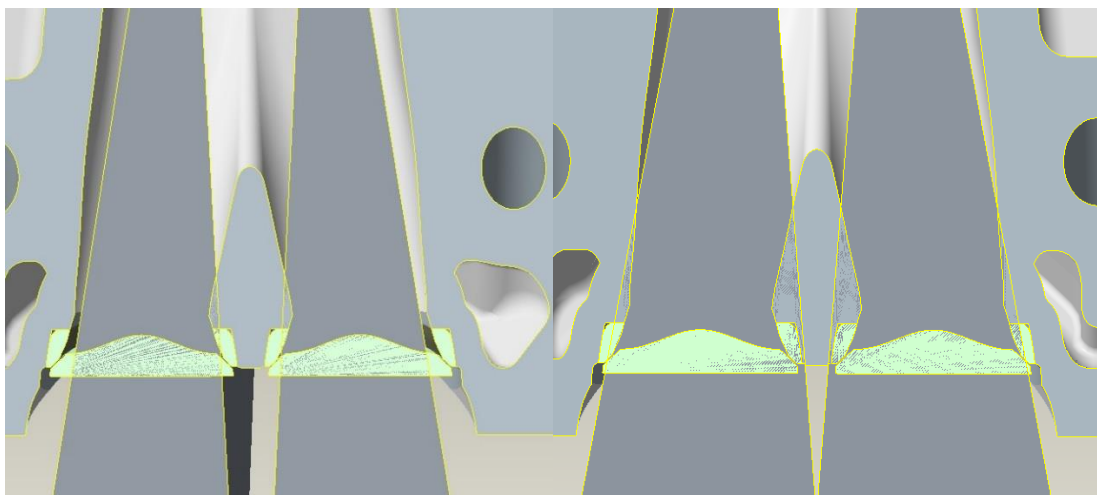
Modul pro vnější tvorbu palivové směsi je možné osadit vstřikovači stejného typu s jiným úhlem výstřiku paliva. Pro co nejmenší smáčení stěn by bylo vhodné použít vstřikovač s menším úhlem rozptylu. Na obrázku č. 41 a 42 je zobrazeno umístění vstřikovače 3 s rozptylovým úhlem 12 stupňů místo 15 stupňů. Porovnání nastříkované oblasti vstřikovače o rozptylu 12 a 15 stupňů je možné vidět na obrázku č.43.



Obrázek 41: Pohled kužel paliva vstřikovače s rozptylem 12 stupňů. Rovina procházející osou vstřikovače [vlastní tvorba].

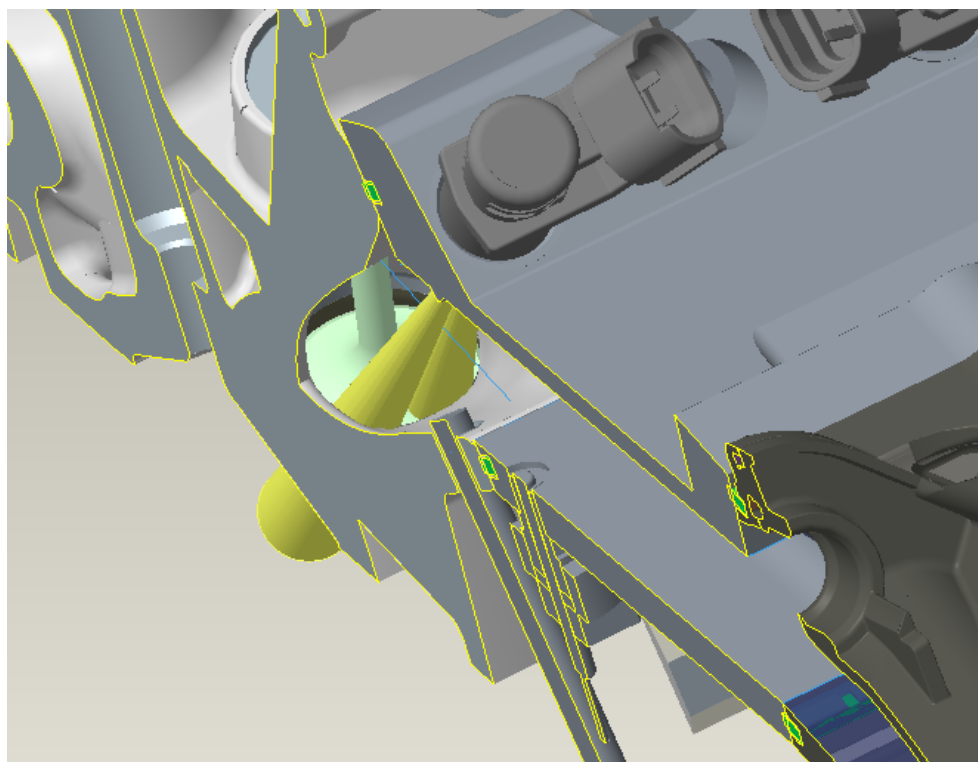


Obrázek 42: Pohled na sací kanál se vstřikovačem s rozptylem 12 stupňů. Rovina procházející středem přepážky sacího kanálu [vlastní tvorba].

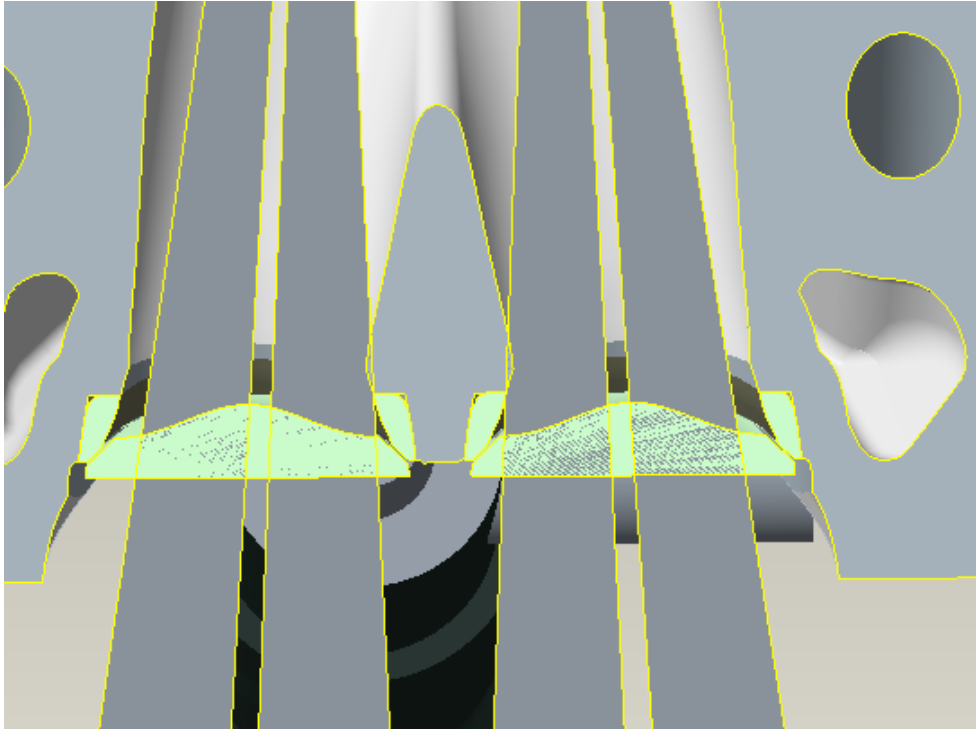


Obrázek 43: Porovnání nastříkované oblasti v ústí kanálu. Řez rovinou procházející osami vstříkovačů (vlevo 12°, vpravo 15) [vlastní tvorba].

Všechny doposud zobrazené varianty umístění vstříkovačů s jedním výstřikem do jednoho sacího kanálu nebo dvou výstřiků do dvou sacích kanálů smáčejí palivem dřík ventilu. To může být nežádoucí, protože může docházet ke stékání paliva při studeném motoru a delší vzdálenosti odpařené směsi od talíře sacího ventilu. Použitím dvou vstříkovačů se dvěma orientovanými výstřiky lze toto nastříkávání odstranit, viz obrázek č. 44 a 45.



Obrázek 44: Pohled do sacího kanálu se dvěma vstříky na jeden ventil [vlastní tvorba].



Obrázek 45: Pohled na ústí sacího kanálu. Řez rovinou procházející vstříkovači [vlastní tvorba].

4 Závěr

V rešeršní části práce byly popsány systémy vnější tvorby směsi vstřikováním pro motory MPI a VFI. Použitím moderních systémů řízení motoru a kvalitních materiálů je možné dosáhnout vysoké účinnosti motoru a co nejvíce potlačit vlivy přechodových stavů motoru. Dokonalá optimalizace částí sání a spalovacích prostor je velmi zásadním problémem při konstrukci motorů.

Zahřátím paliva před samotným vstřikováním na teplotu 28 °C se předpokládalo rychlejší odpaření paliva v sacím potrubí, menší odběr tepla z okolí sacího kanálu a dodání většího množství energie do spalovacího procesu. Lepší promísení směsi by mělo potlačit problém se strháváním paliva z filmu vytvořeného na stěnách sacího kanálu a s tvorbou nežádoucí náhle bohaté palivové směsi. Rychlejší spalování by mělo mít také vliv na rozložení přívodu tepla za konstantního objemu a mohlo by dojít ke zvýšení spalovacího tlaku.

Termodynamické výpočty ve třetí kapitole této práce poukazují na využití tepla výfukových spalin. Přínos ohřátí paliva před samotným vstřikováním by mělo potvrdit až zkoumání endoskopickou technikou a měřením teplot.

V diplomové práci bylo řešeno co nejvýhodnější umístění dvou či více vstřikovačů u benzínového motoru s šestnáctiventilovou hlavou válců 1,6L MPI. Použití tří vstřikovačů bylo zavrženo kvůli malému prostoru a nemožnosti nastavení vstřikovačů. Přispěl k tomu i fakt, že dva vstřikovače, které musely být umístěny pod vstřikovačem vrchním, měly nevýhodnou polohu a nastříkovaly spodní část sacího kanálu. Uspořádání se dvěma vstřikovači už poskytovalo dobrý základ pro zástavbu a dostatečnou nastavitelnost osy vstřikovačů. Místo původních vstřikovačů (jeden vstřikovač na válec), které vstříkovaly dva rozevřené proudy od sebe natočené o 18 stupňů s rozptylem paliva 12 stupňů, byly použity dva vstřikovače s rozptylem vstřikovaného paliva 15 stupňů. Vstřikovače byly umístěny o 3 mm níže než předchozí a byly méně natočeny ve vertikální rovině. Rozteč vstřikovačů je 20 mm a oba vstřikovače jsou od sebe natočeny o 8 stupňů. Vstřikovače byly umístěny ve vložkách a utěsněny pryžovým těsněním. Proto, aby byla jednoznačně dána poloha natočení vložky, je ve vložce sražení, které do modulu přesně zapadne. Rozmezí nastavení je osově o 3 stupně v každém směru. Možné je i zkrátit či prodloužit vložku a změnit tak vzdálenost vstřikovače od sacího kanálu.

Díky níže položenému uchycení vstřikovačů došlo hlavně v místě přechodu hlavy a modulu ke zúžení sacího kanálu. To relativně znemožnilo dobrou pozici endoskopu v modulu, a proto jsem použil uložení endoskopu přímo do hlavy motoru, které bylo již realizováno při měření [19]. Toto umístění endoskopu do hlavy je výhodné, protože bylo již realizováno a obrazové výsledky by měly být lépe srovnatelné a nezkreslené jiným úhlem pohledů.

Obdoba konstrukce palivového modulu pro uchycení vstřikovačů může být použita pro další vývoj jiných pohonných jednotek. Výsledky z plánovaných měření a vizualizace přípravy směsi v sání podrobně popíší tvorbu směsi, tvorbu palivového filmu na stěně a také pomohou zjistit, zda se dostavilo nějaké zlepšení ohledně zahřátí paliva.

Cílem konstrukce palivového modulu je zjistit, zda přínos ve formě snížení spotřeby paliva, snížení emisí a zlepšení tvorby palivové směsi vyváží vyšší pořizovací náklady na výrobu a zástavbu dvou vstřikovačů.

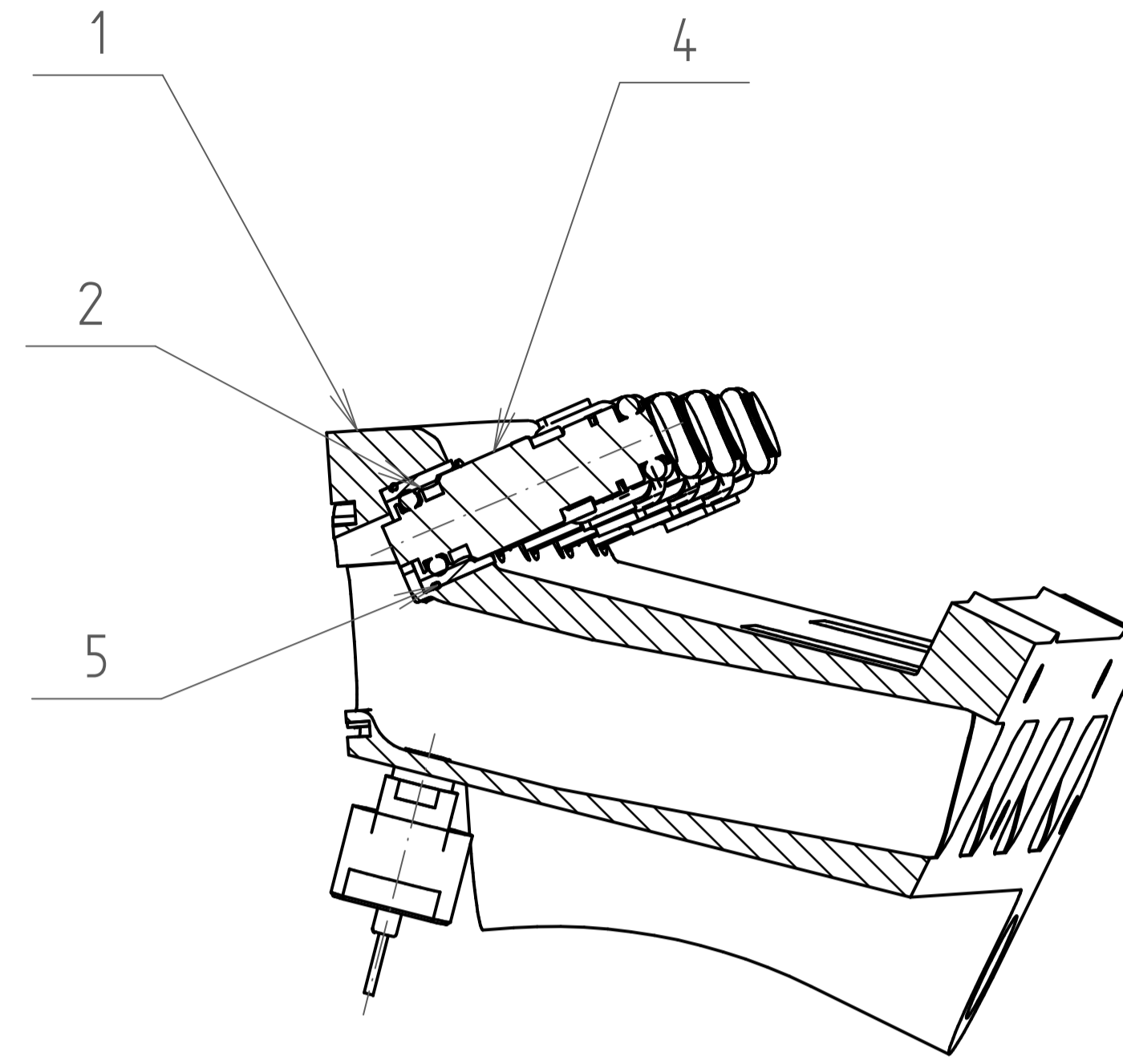
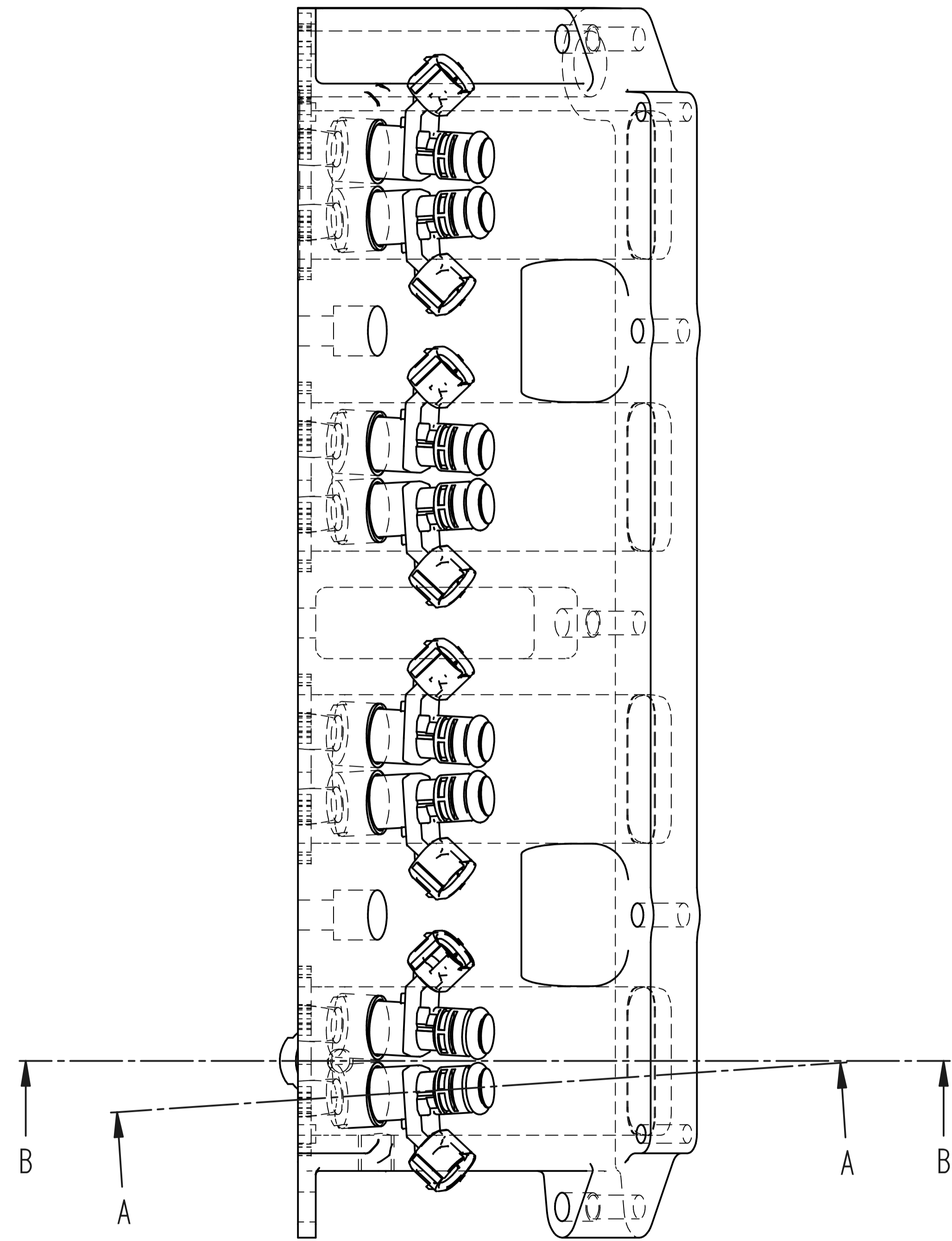
5 Použitá literatura

- [1] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0350-5.
- [2] PÁV, Karel. *Paliva PSM* [online]. FS TUL [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: http://old.kvm.tul.cz/studenti/texty/VM_Sem/03_Paliva%20pro%20PSM.pdf
- [3] Beroun, Stanislav a Celestýn SCHOLZ. *Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. ISBN 80-7083-467-6.
- [4] PÁV, Karel. *Palivová směs PSM* [online]. FS tul [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: http://old.kvm.tul.cz/studenti/texty/VM_Sem/04_Palivov%C3%A1%20sm%C4%9Bs%20PSM.pdf
- [5] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburátory a vstřikování paliva*. Praha: Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0207-6.
- [6] MACEK, Jan. *Spalovací motory I*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03618-1.
- [7] BOSCH SERVICE. *Benzínové systémy* [online]. [cit. 2019-04-02] Dostupné z: http://www.autodarebnik.cz/pdf/Bosch_broz++Benzin_nahl.pdf
- [8] LAURIN, Josef. *Vstřikování benzínu do sání motoru*. FS TUL 2013 [cit.2019-04-12].
- [9] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 3., přeprac. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN isbn978-80-86706-17-7.
- [10] BOSCH AUTO PARTS. *Mono motronic* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: http://br.bosch-automotive.com/en/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_sytems/benzin/injection_system/mono_motronic_1/mono_motronic.html
- [11] KASTNER, Jan. *Elektronické vstřikování paliva* [online]. [cit 2019-04-29]. Dostupné z: <http://www.ford-escort.xf.cz/EFI.htm>

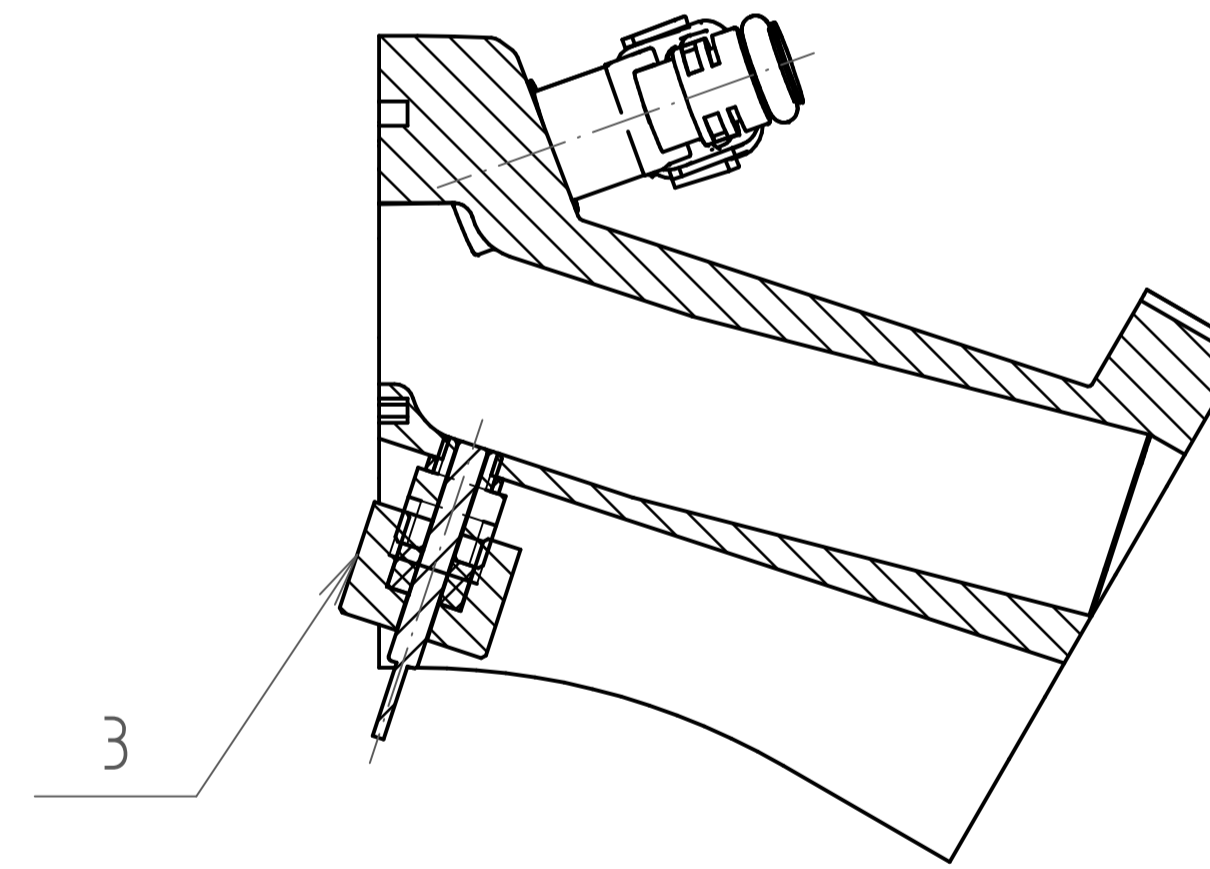
- [12] SUBBARAO, P. *Fuel Evaporation in Ports of SI Engines* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/5280808/>
- [13] FUEL-EFFICIENT-VEHICLES. *Run your car on vapour* [online]. 2016 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <http://fuel-efficient-vehicles.org/energy-news/?p=1310>
- [14] RICARDO, Pimenta. *Fuel injection systems (gasoline)* [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: MPI_publicace/SIAUT_Fuel_Injection_Systems-Gasoline.pdf
- [15] ROWLEY, Gerald W. *Fuel vaporizing system*. United States. Patent US2017021523A1. 2017-06-27. Dostupné z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/c6/95/5d/9a65afc77957a1/US2017021523A1.pdf>
- [16] COVEY, Ray M., Jr. *Fuel vaporizing system*. United States. Patent US005291870A. 1994-05-08. Dostupné z: <http://www.freepatentsonline.com/5291870.pdf>
- [17] BLAŽEK, Josef. *Vizualizace dějů uvnitř spalovacího motoru* [online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/11208467-Vizualizace-deju-uvnitri-spalovaciho-motoru.html>
- [18] SCHOLZ, Celestýn a Josef BLAŽEK. *Vizualizace procesu spalování a vstřikování paliva*. FS TUL. ISBN 80-8069-051-0.
- [19] ČECH, Karel. *Vizualizace vstřikování paliva do sacího potrubí pro výzkum zážehových motorů*, 2016. 55 s. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, fakulta strojní. Vedoucí práce prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.
- [20] HAVLÁSEK, Martin. *Zvyšování účinnosti vakuového odpařování*. Brno 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Mgr. Marek Vondra
- [21] STONE, Richard. *Introduction to internal combustion engines*. 4th ed. Basingstoke: Palgrave Macmillan, c2012. ISBN 978-0230576636.
- [22] SCHOLZ, Celestýn. *Vstřikování paliva do sacího kanálu při nestacionárních režimech*. XLVIII. Internacional scientific Conference of Czech and Slovak universities. TU of Liberec, 2017, Klášterec nad Jizerou, ISBN 978-80-7494-354-6.

6 Seznam příloh

<i>Název:</i>	<i>Číslo dokumentu:</i>	<i>Formát listu:</i>
Palivový modul	V-00.0000.10	A1
Těleso palivového modulu	V-00.0001.00	A0
Vložka uchycení vstřikovače	V-00.0002.40	A4
Uchycení termočlánku PT100	V-01.0000.30	A3
Díl uchycení PT100-1	V-01.0001.40	A4
Díl uchycení PT100-2	V-01.0002.40	A4
Těsnění PT100-1	V-01.0003.40	A4
Těsnění PT100-2	V-01.0004.40	A4
Sestava	V-02.0000.10	A1



ŘEZ A-A
1:1



ŘEZ B-B
1:1

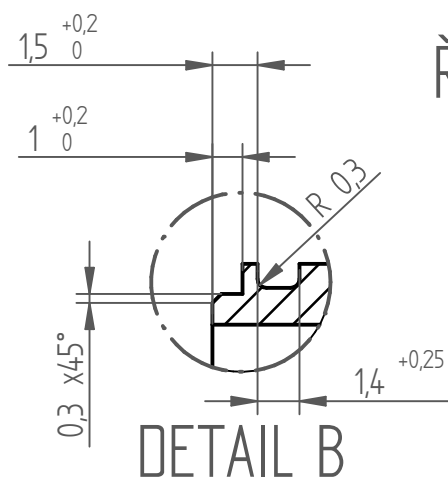
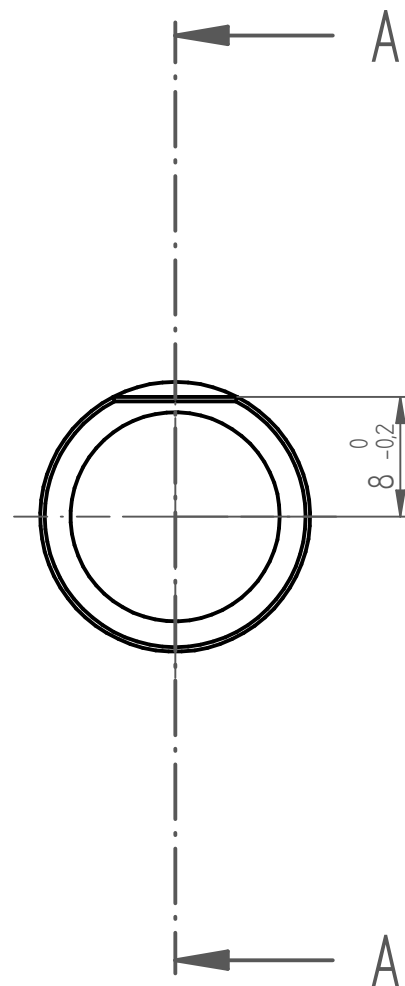
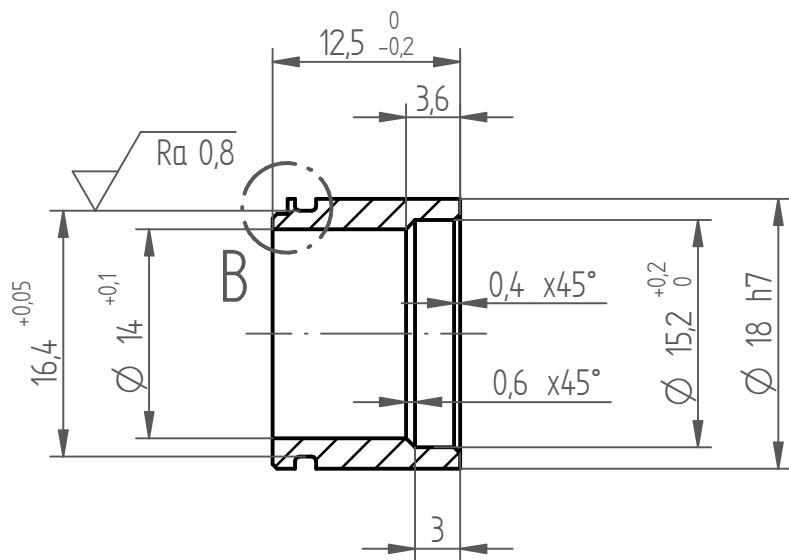
Poz	Název	Číslo výkresu	Materiál	Polotovar	Mn
5	O-kroužek 16x1		MVQ60		8
4	Vstřikovač				8
3	Uchycení termočláčku PT100	V-01.0000.30		-	1
2	Vložka uchycení vstřikovače	V-00.0002.40	ČSN 424400.61	Ø20-16	8
1	Těleso palivového modulu	V-00.0001.00	AlSi6Cu4	90x130-350	1
Struktura povrchu:		Hrany: $+0.3$ -0.3	Polotovar: -	Tolerování: ISO 8015	
			Materiál: -	Přesnost: ISO 2768-mK	
			Norma: -	Zobrazení:	
			Hmotnost hrubá: -		
			Hmotnost čistá: 2,86kg		
				Pozn.:	
Měřítka:	Kreslil: Tomáš Frieda			3	
1:1	Přezkoušel:			2	
	Datum: 3.5.2019			1	
	Typ:		Změna	Index	Datum
	Název:				Podpis
	Palivový modul	Číslo výkresu:	V-00.0000.10	1	1
				1	1

1

2

3

4



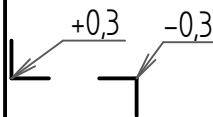
ŘEZ A-A

DETAIL B

Struktura povrchu:



Hrany:



Polotovar: Ø20-16

Materiál: ČSN 424400.61

Norma: ČSN 427611

Hmotnost hrubá:

Hmotnost čistá: 0,003 kg

Tolerování: ISO 8015

Přesnost: ISO 2768-mK

Zobrazení:

Pozn.:

Měřítko:

2:1

Kreslil: Tomáš Frieda

Přezkoušel:

Datum: 2.5.2019

Typ:

Změna

Index

Datum

Podpis



Ná zev:

Vložka uchycení vstříkovače

Číslo výkresu:

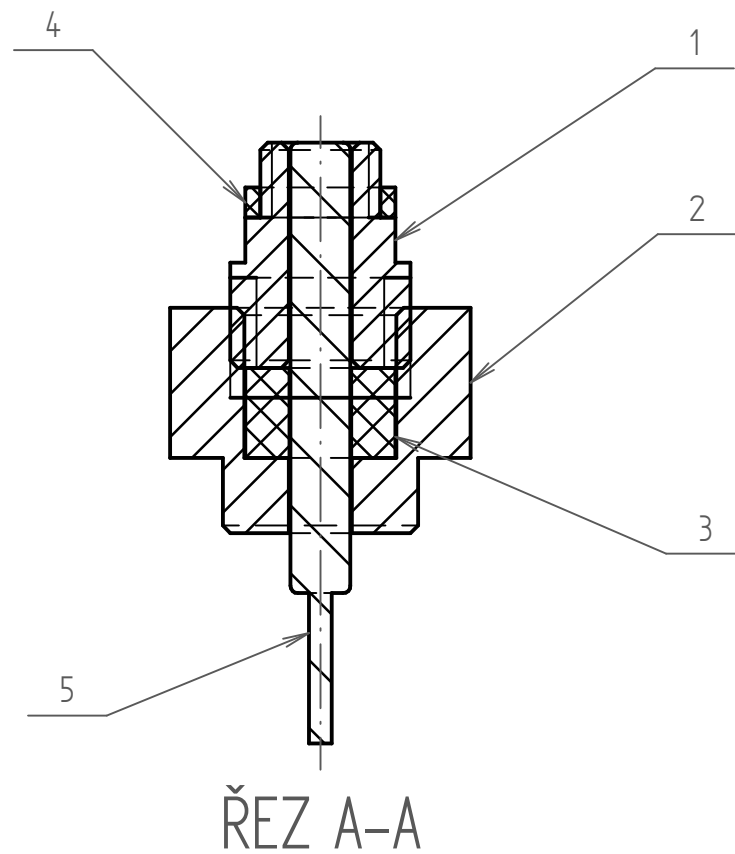
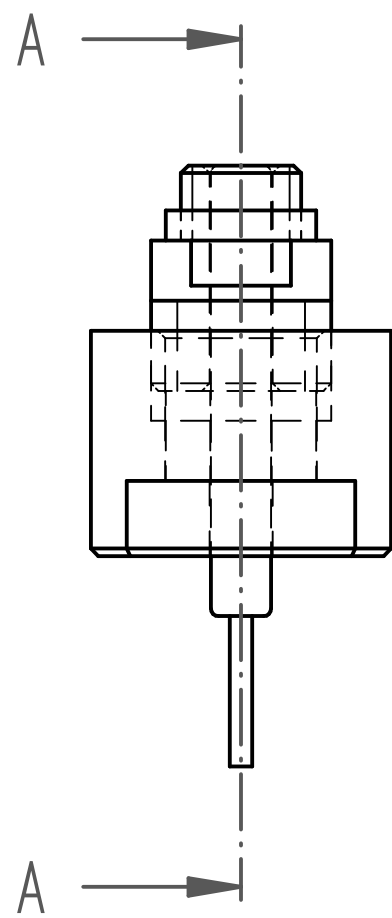
V-00.0002.40

Listů:

1

List:

1



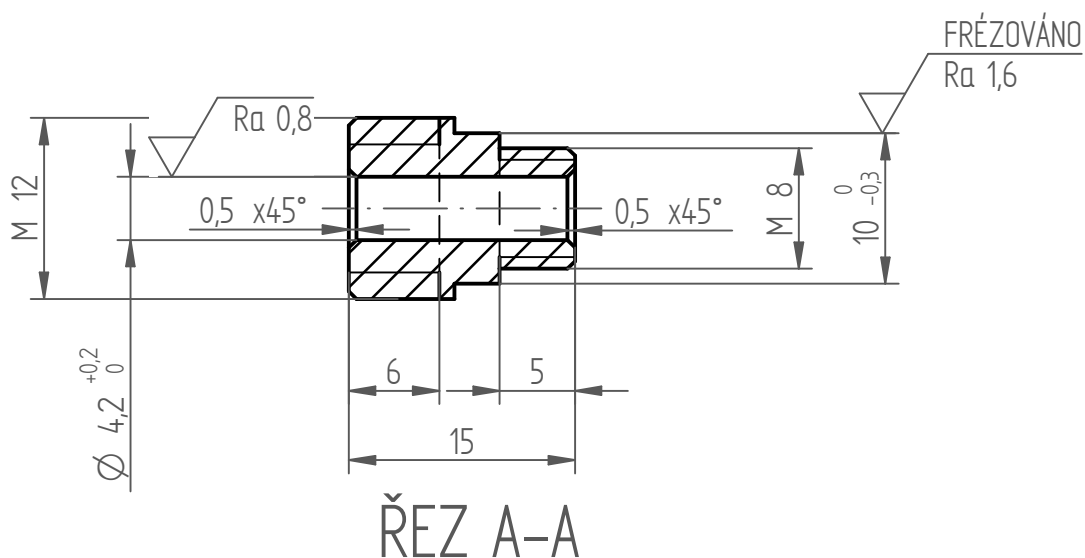
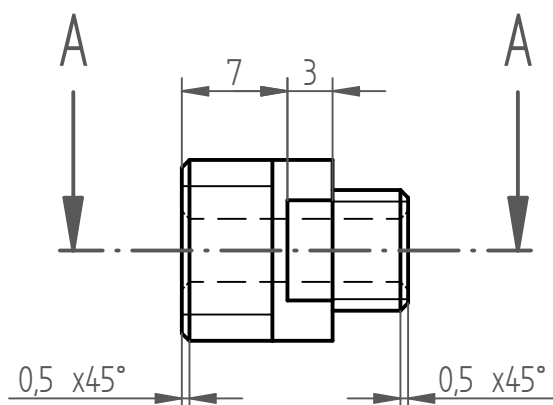
ŘEZ A-A

Poz	Název	Číslo výkresu	Materiál	Polotovár	Mn
5	Termočlánek PT100		Pt		1
4	Těsnění PT100-2	V-01.0004.40	MVQ60		1
3	Těsnění PT100-1	V-01.0003.40	MVQ60		1
2	Díl uchycení PT100-2	V-01.0002.40	ČSN 424400.61	Ø24-18	1
1	Díl uchycení PT100-1	V-01.0001.40	ČSN 424400.61	Ø15-18	1

Struktura povrchu:	Hrany:	Polotovár:	Tolerování:
		Materiál: -	ISO 8015
		Norma:	Přesnost: ISO 2768-mK
		Hmotnost hrubá:	Zobrazení:
		Hmotnost čistá: 0,01kg	Pozn.:

Měřítko:	Kreslil: Tomáš Frieda	3			
2:1	Přezkoušel:	2			
	Datum: 3.5.2019	1			
	Typ:	Změna	Index	Datum	Podpis

	Název:	Číslo výkresu:	Listů:
	Uchycení termočlátku PT100	V-01.0000.30	1
			List:
			1

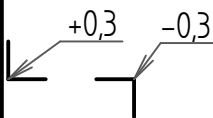


ŘEZ A-A

Struktura povrchu:



Hrany:



Polotovár: Ø15-18

Materiál: ČSN 424400.61

Norma: ČSN 427611

Hmotnost hrubá:

Hmotnost čistá: 0,003 kg

Tolerování: ISO 8015

Přesnost: ISO 2768-mK

Zobrazení:

Pozn.:

Měřítko:

2:1

Kreslil: Tomáš Frieda

Přezkoušel:

Datum: 3.5.2019

Typ:

Změna

3

2

1

Index

Datum

Podpis



Název:

Díl uchycení PT100-1

Číslo výkresu:

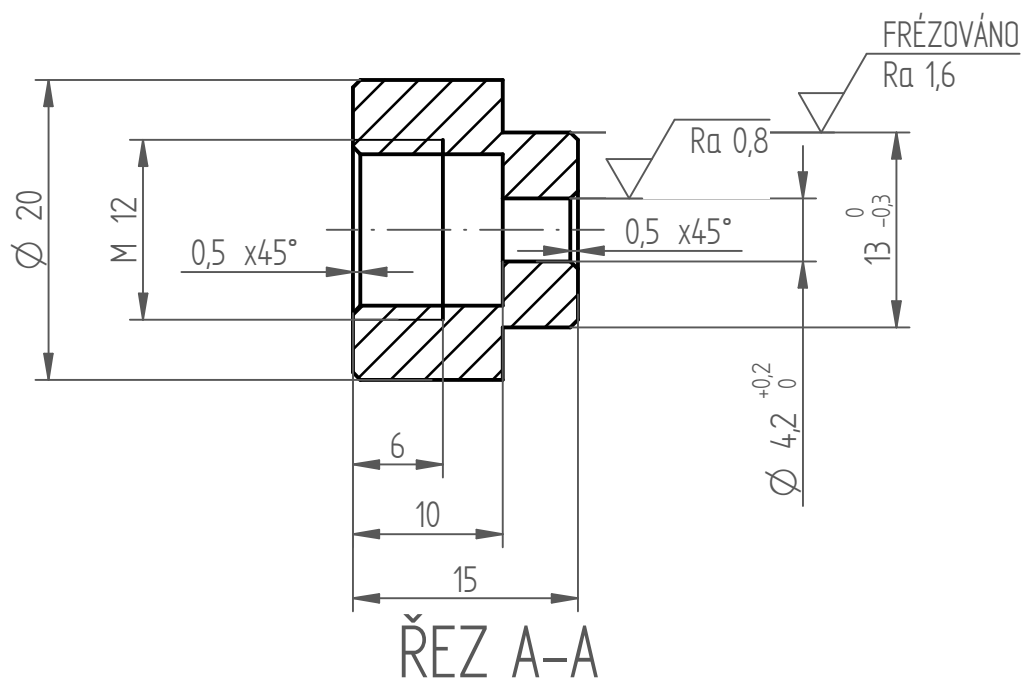
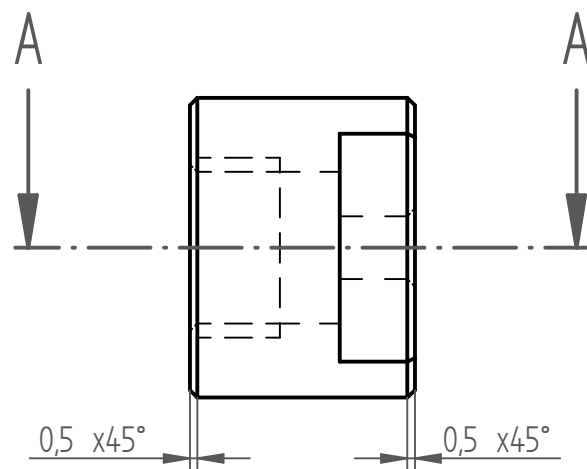
V-01.0001.40

Listů:

1

List:

1

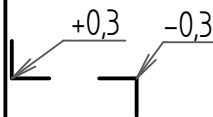


Struktura povrchu:



Ra 3,2

Hrany:



+0,3 / -0,3

Polotovar: Ø24-18

Materiál: ČSN 424400.61

Norma: ČSN 427611

Hmotnost hrubá:

Hmotnost čistá: 0,009 kg

Tolerování: ISO 8015

Přesnost: ISO 2768-mK

Zobrazení:

Pozn.:

Měřítko:

2:1

Kreslil: Tomáš Frieda

Přezkoušel:

Datum: 2.5.2019

Typ:

Změna

Index

Datum

Podpis



Název:

Díl uchycení PT100-2

Číslo výkresu:

V-01.0002.40

Listů:

1

List:

1

1

2

3

4

A

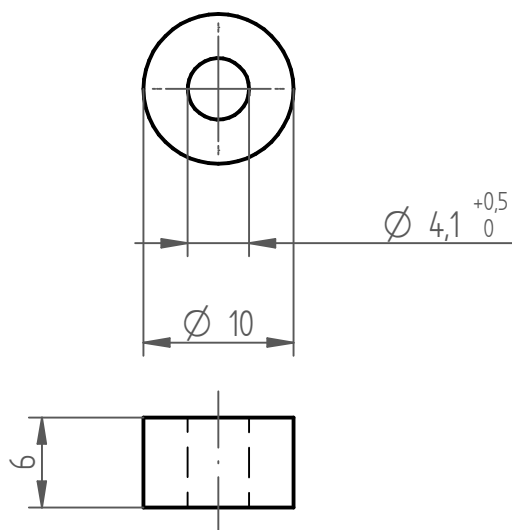
B

C

D

E

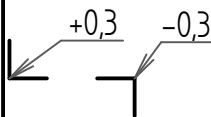
F



Struktura povrchu:



Hrany:



Polotovar: PL06-13x13

Materiál: MVQ60

Norma: PN 029280.9

Hmotnost hrubá:

Hmotnost čistá: 0,001kg

Tolerování: ISO 8015

Přesnost: ISO 2768-mK

Zobrazení:

Pozn:

Měřítko:

2:1

Kreslil: Tomáš Frieda

Přezkoušel:

Datum: 2.5.2019

Typ:

Změna

Index

Datum

Podpis



Ná zev:

Těsnění PT100-1

Číslo výkresu:

V-01.0003.40

Listů:

1

List:

1

1

2

3

4

A

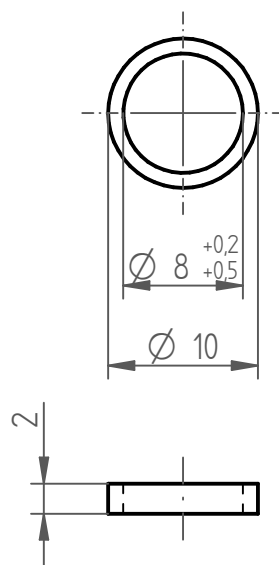
B

C

D

E

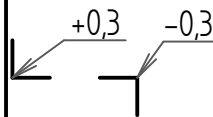
F



Struktura povrchu:



Hrany:



Polotovar: PLO 2-10x10

Materiál: MVQ60

Norma: PN 029280.9

Hmotnost hrubá:

Hmotnost čistá: 0,000 kg

Tolerování: ISO 8015

Přesnost: ISO 2768-mK

Zobrazení:

Pozn.:

Měřítko:

2:1

Kreslil: Tomáš Frieda

Přezkoušel:

Datum: 3.5.2019

Typ:

Změna

Index

Datum

Podpis



Název:

Těsnění PT100-2

Číslo výkresu:

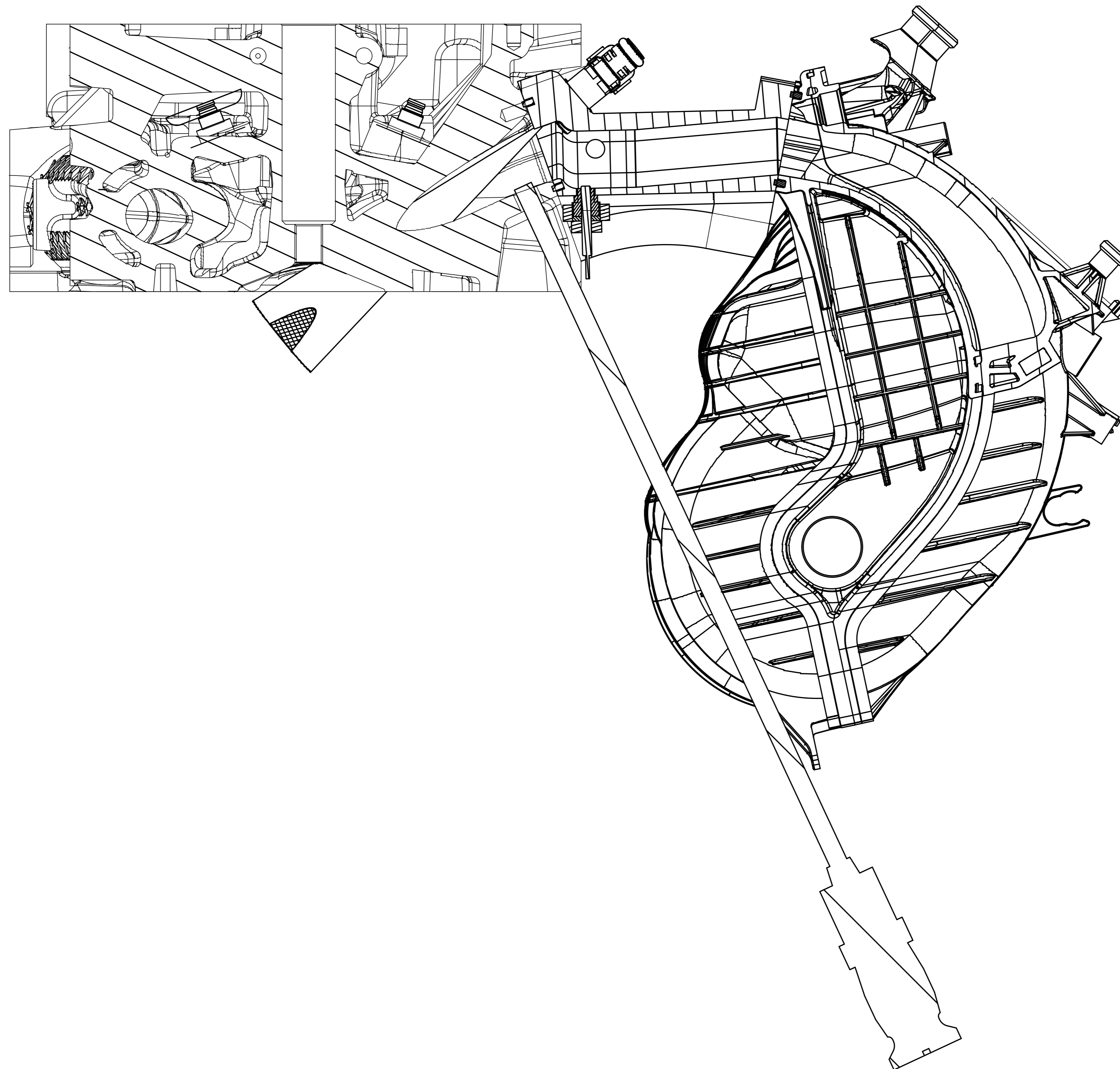
V-01.0004.40

Listů:

1

List:

1



Struktura povrchu:	Hrany:	Polotovar:	Tolerování:	ISO 8015
		Materiál:	Přesnost:	ISO 2768-mK
		Norma:	Zobrazení:	
		Hmotnost hrubá:	Pozn:	
		Hmotnost čistá:		
Měřítko:	Kreslil: Tomáš Frieda		3	
1:1	Prozkoušel:		2	
	Datum: 3.5.2019		1	
	Typ:	Změna	Index	Datum
	Název:	Číslo výkresu:		Podpis
	SESTAVA	V-02.0000.10		Listů: 1
				List: 1