



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ



**Ústav automobilů, spalovacích
motorů a kolejových vozidel**

Tepelné namáhání vstřikovače dvoupalivového vznětového motoru

**Thermal Loading of Injector in a Dual Fuel Compression Ignition
Engine**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: Dopravní, letadlová a transportní technika
Vedoucí práce: Ing. Jiří Vávra, Ph.D.
Vypracoval: Bc. Jakub Šál

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šál** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **397328**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Tepelné namáhání vstřikovače dvoupalivového vznětového motoru

Název diplomové práce anglicky:

Thermal Loading of Injector in a Dual Fuel Compression Ignition Engine

Pokyny pro vypracování:

Provedte rešerži tepelného namáhání trysky vstřikovače při provozu dvoupalivového motoru s přímým vstřikováním nafty. Soustředte se na provoz ve vysokém zatížení s velkým podílem zemního plynu ve směsi. Pro experimentální jednoválcový dvoupalivový vznětový motor navrhnete, realizujete a na funkčním motoru otestujete vhodný systém měření teploty trysky vstřikovače a navrhnete opatření pro snížení tepelného namáhání trysky vstřikovače.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

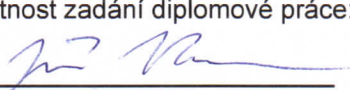
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:


,

Datum zadání diplomové práce: **26.10.2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **06.01.2017**

Platnost zadání diplomové práce: _____


Podpis vedoucí(ho) práce



Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

1.11.2016
Datum převzetí zadání


Podpis studenta



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „*Tepelné namáhání vstřikovače dvoupalivového vznětového motoru*“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Vávry, Ph.D. za použití zdrojů uvedených na závěr mé diplomové práce v seznamu literatury.

Kralupy nad Vltavou, 6. ledna 2017

.....

Bc. Jakub Šál



Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jiřímu Vávrovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady a připomínky. Dále bych chtěl poděkovat odbornému konzultantovi Ing. Ivanu Bortelovi za věcné doporučení a poznámky a panu Ing. Vojtěchu Klírovi, Ph.D. za pomoc při svařování termočlánků. Mé poděkování patří i panu Ing. Lukášovi Flekalovi z firmy DIESELPOWER s.r.o. za objasnění tajů vstřikovacích systémů. Také děkuji své rodině za podporu a umožnění studia.



Obsah

1	Úvod	11
2	Cíl práce.....	13
3	Zjišťování teploty trysky na velkoobjemovém dvoupalivovém motoru.....	14
3.1	Parametry experimentálního motoru	14
3.2	Osazení měřícího zařízení.....	15
3.3	Data získaná z měření.....	15
3.4	Shrnutí	17
4	Chlazení trysky vstřikovače	18
4.1	Tepelnou trubicí	18
4.2	Objímkou	20
4.3	Měděným prstencem – přírubové pouzdro	21
4.4	Vodním kanálem (tekutým médiem)	23
4.5	Shrnutí – výběr snižující tepelnou námahu trysky	24
5	Snímání teploty	25
5.1	Termoelektrické snímače teploty (Termočlánky).....	25
5.1.1	Typy termočlánků.....	26
5.1.2	Typ měřícího spoje	26
5.1.3	Základní provedení izolací	27
5.2	Odporové snímače teploty	28
5.2.1	Typy odporových snímačů.....	28
5.2.2	Shrnutí – výběr teplotního snímače	29
6	Působíště (Vlastní konstrukční návrh).....	30
6.1	Experimentální motor	31
6.2	Měřicí zařízení	32
7	Postup práce.....	33
7.1	Volba teplotního čidla	33
7.2	Trasa	34
7.3	Svařování termodrátků	39
7.4	Tepelná zkouška	40
7.5	Těsnění	41
7.6	Měření	42
7.6.1	První testování.....	42



7.6.2	Druhé měření	44
7.6.3	Třetí měření.....	46
7.6.4	Shrnutí.....	49
7.7	Konstrukční návrh	50
7.7.1	Návrh uložení termočlánku v trysce.....	50
7.7.2	Návrh opatření pro snížení tepelné zátěže trysky vstřikovače	51
7.8	Model jednoválcového motoru v programu GT-SUITE	57
7.8.1	Okrajové podmínky	58
7.8.2	Simulace doprovázená změřenými hodnotami.....	60
7.8.3	Shrnutí.....	65
8	Závěr.....	66
	Seznam použité literatury:.....	67
	Seznam obrázků	69
	Seznam tabulek	72
	Seznam příloh.....	73
	Postup montáže	75
	Náradí potřebné k tvorbě pouzdra	79



Anotační list

Jméno autora:	Bc. Jakub ŠÁL
Název DP:	Tepelné namáhání vstříkovače dvoupalivového vznětového motoru
Anglický název:	Thermal Loading of Injector in a Dual Fuel Compression Ignition Engine
Rok:	2016
Studijní program:	N2301Strojní inženýrství
Obor studia:	(2301T047) Dopravní, letadlová a transportní technika
Ústav:	<i>Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel</i>
Vedoucí DP:	Ing. Jiří VÁVRA, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Ivan BORTEL
Bibliografické údaje:	počet stran 80 počet obrázků 57 počet tabulek 14 počet příloh 9
Klíčová slova:	teplota vstříkovací trysky, experimentální motor, termočlánek, dvoupalivový vznětový motor, přírubové pouzdro
Keywords:	temperature of the injector nozzle, experimental engine, thermocouple, Dual Fuel Compression Ignition Engine, flanged sleeve

Anotace:

Obsahem práce je návrh, realizace a následné otestování měřícího členu snímajícího teplotu trysky vstříkovače ve spalovacím prostoru a dále také návrh opatření pro snížení tepelného namáhání trysky vstříkovače. Součástí této práce je 3D model a výkresová dokumentace vytvořená v programu Autodesk Inventor. Rešerše je zpracována na téma druhy teplotních snímačů a opatření pro snížení tepelného namáhání pro trysky vstříkovače.

Abstract:

The thesis includes the design, implementation and subsequent testing of the measuring element sensing the temperature of the injector nozzle in the combustion chamber. It describes a design of a measure to reduce the thermal stress on the injector nozzle. Thesis includes 3D model and drawings created in Autodesk Inventor. Literature search is elaborated on the topic of types of temperature sensors and measures to reduce the thermal stress on the injector nozzle.



Seznam použitých zkratk

a	[mm]	vzdálenost hodnoty průměru od hrany trysky
$^{\circ}ATDC$		<i>After Top Dead Center - $^{\circ}$ klikové hřídele po horní úvrati</i>
α	[$^{\circ}C^{-1}$]	součinitel teplotní roztažnosti
α_e	[K^{-1}]	teplotní součinitel elektrického odporu
b	[mm]	průměr trysky vstřikovače
BMEP	[bar]	střední efektivní tlak
c	[mm]	průměr trysky vstřikovače – o 90° otočené od „b“
c	[J/kgK]	měrná tepelná kapacita chladicí látky
CA50	[$^{\circ}ATDC$]	poloha 50 % vývinu tepla
C		uhlík
d	[mm]	průměr součásti po zahřátí
d_o	[mm]	počáteční průměr součásti
DDF		dvoupalivový systém, zažehnutí směsi plynu naftou
EGT	[$^{\circ}C$]	teplota výfukových plynů
E_{MS}	[V]	termoelektrické napětí
EVC	[$^{\circ}ATDC$]	zavření výfukového ventilu
EVO	[$^{\circ}ATDC$]	otevření výfukového ventilu
FEP		teflon
H		vodík
IMEP	[bar]	indikovaný střední efektivní tlak
IVC	[$^{\circ}ATDC$]	zavření sacího ventilu
IVO	[$^{\circ}ATDC$]	otevření sacího ventilu
k	[W/m^2K]	součinitel prostupu tepla
λ	[1]	směšovací poměr
M		měřicí spoj
mCNG	[kg/h]	spotřeba zemního plynu
mMN	[kg/h]	spotřeba motorové nafty
\dot{m}	[kg/s]	průtok chladicí kapaliny
P_{MAX}	[bar]	maximální tlak ve válci motoru
PVC		polyvinylchlorid



Q	[W]	teplo
Q_{DIESEL}	[mg]	dávka nafty na cyklus
R_0	[Ω]	odpor při nulové teplotě
R_t	[Ω]	odpor při teplotě t
s	[m ²]	velikost teplosměnné plochy
S		srovnávací spoj
sig CNG	[kg/kg]	hmotnostní podíl CNG – substituce nafty
ΔT	[K]	rozdíl mezi výstupní a vstupní teplotou
Δt_{\log}	[K]	logaritmický spád
ΔT_v	[°C]	rozdíl teplot mezi vstupní chlazenou kapalinou vstupující do bloku motoru a výstupní kapalinou vycházející z hlavy.
t	[°C]	teplota
t_0	[°C]	počáteční teplota
TFE		modifikovaný teflon
$T_{\text{injt}ip0}$	[°C]	teplota termočlánu o $\varnothing 0.25\text{mm}$, 4mm od hrany trysky
$T_{\text{injt}ip0}$	[°C]	teplota termočlánu o $\varnothing 0.07\text{mm}$, 2mm od hrany trysky
T_M	[K]	teplota měřícího spoje
T_s	[K]	teplota srovnávacího spoje
T_{TIP}	[°C]	teplota vstřikovací trysky



1 Úvod

Neustálé zpřísnování emisních norem a stále se zvyšující cena pohonných hmot a rovněž i obavy týkající se změny klimatu vedou k hledání alternativních paliv.

Tím to palivem je často zmiňovaný zemní plyn, který je k dispozici po celém světě za konkurenceschopnou cenu. Toto je důvod, proč mnohé země zvažují masivní využití zemního plynu v dopravě. Ačkoli zemní plyn je fosilní palivo, tak dosahuje snížení emisí skleníkových plynů o 20 procent ve srovnání s naftou či provozem na benzin v důsledku vyššího poměru H ku C metanu. Jelikož je metan skleníkový plyn, je krajně nežádoucí vypouštět jej nespálený do atmosféry. Velmi důležitý je také fakt, že zemní plyn má vysokou odolnost proti klepání, to je dáno vyšším oktanovým číslem (přibližně 130) než má benzin či nafta. Metan dokážeme získat i z obnovitelných zdrojů jako bioplyn. [3][12][6]

Zážehové motory umožňují použití paliva s nízkým obsahem uhlíku, například zemní plyn. Použití takového paliva vede k výraznému snížení emisí oxidu uhličitého. Pro snížení emisí NO_x je zapotřebí zvýšení přebytku vzduchu, ale v případě velkého ochuzení se stává směs, jež je zapalována svíčkou velmi obtížně zapalitelnou.

Vznětové motory jsou stále dominantní hnací silou v komerčních aplikacích, které mají vysokou účinnost. Diesel Dual Fuel (DDF) je koncept vznětového motoru, kde se používá jako palivo kombinace zemního plynu a nafty při zachování poměrně vysokého kompresního poměru. Tento koncept dokáže zapálit i poměrně chudou směs. Další výhodou dvoupalivového systému s vysokou náhradou nafty je výrazné snížení emisí částic, protože metan je velmi stabilní molekula s nízkým obsahem uhlíku. V DDF motorech je metan jako hlavní zdroj energie vstřikován do sacího potrubí, zde se smísí se vzduchem v průběhu sacího a kompresního zdvihu a tuto směs zažehne malá pilotní dávka nafty. [1][2][12]

Dvoupalivový systém se dosud používal zejména u velkých motorů v těžkých nákladních automobilech s malou substitucí nafty. V poslední době se provádí výzkumy s velkou substitucí nafty na motorech pro lehké užitkové vozy, které jsou vybaveny systémem vstřikování common rail. Systém vstřikování plynného paliva je implementován v sání motoru a umožňuje funkci pro provoz dvou paliv. Výhodou konfigurace je to, že takový motor může kdykoli fungovat opět pouze na naftu a



nedochází k zásadním modifikacím hardwaru motoru, což je příznivé pro postupné zavádění duálního paliva na automobilový trh. [3][5]

Značné obtíže s teplotním zatížením komponentů motoru přichází kvůli přechodu na spalování s velkou náhradou nafty zemním plynem. V poslední době je věnována pozornost skutečnosti, že tryska naftového vstřikovače může dosáhnout velmi vysoké teploty na její špičce, což způsobuje nižší životnost vstřikovače a zhoršení produkovaných emisí. Ve své diplomové práci se budu zabývat teplotou vstřikovací trysky a návrhem snížení jejího tepelného namáhání.

Výše jmenovaný jev je způsoben snížením průtoku motorové nafty v motoru DDF. Na rozdíl od naftového motoru vysoké zatížení nemusí nutně znamenat vysoký průtok nafty přes vstřikovací trysku. Vysoké teploty špičky trysky zvyšují rychlost tvorby usazenin v otvorech trysky a následkem toho dochází ke špatnému rozprášení paliva a také ke špatnému spalování. V důsledku toho pak dochází i ke zhoršení emisí škodlivých látek vycházejících z motoru.

Pan Hannu Jääskeläinen a Alessandro Ferrari na internetových stránkách DieselNet.com v článku Injector Deposits uvádějí, že vysoká teplota a krakování nafty urychluje tvorbu úsad, pokud teplota trysky překročí 300 °C. Tato teplota je udávána jako kritická hodnota pro koksování trysek v naftových motorech.[27]

Má diplomová práce se zabývá návrhem, realizací a následným otestováním měřicího členu snímajícího teplotu trysky vstřikovače ve spalovacím prostoru a návrhem opatření pro snížení tepelného namáhání trysky vstřikovače.



2 Cíl práce

Úkolem mé diplomové práce je pomoci k dosažení vyššího cíle a tím je bezproblémový provoz maloobjemového dvoupalivového motoru v oblasti s velkou substitucí nafty. Při výměně nafty za plyn doposud docházelo k tomu, že byl více teplotně namáhán, byl také náchylný k samozápalům a není neobvyklé, že docházelo také k destrukci součástí – nejčastěji trysky vstřikovače.

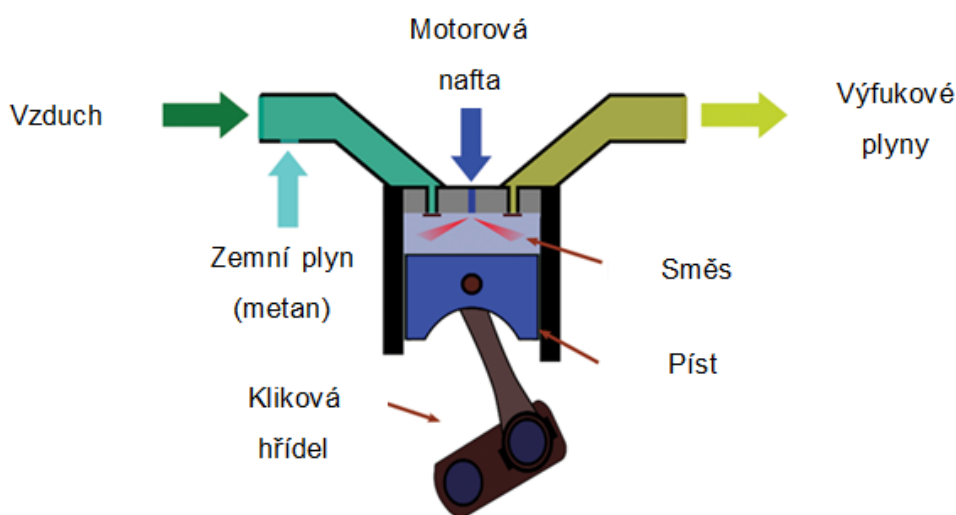
Cílem mé práce je návrh a realizace měření teploty trysky vstřikovače systému common rail. Měření bude prováděno v jednoválcovém výzkumném vznětovém motoru, jenž je vyroben firmou AVL. Mimo získání údajů o teplotě trysky ve spalovacím prostoru se budu také zabývat návrhem snižujícím její teplotní namáhání, neboť zde tkví úskalí dvoupalivového motoru.



3 Zjišťování teploty trysky na velkoobjemovém dvoupalivovém motoru

Tato kapitola je věnována měření tepelného namáhání trysky vstřikovače, které provedla firma AVL na dvoupalivovém velkoobjemovém motoru určeném pro nákladní vozy. Pro tyto účely si firma AVL nechala vyrobit speciální trysku, kterou posléze podrobila měření.

Kapitola se nevěnuje souhrnnému popisu měření, ale jsou zde vybrány pouze dílčí části týkající se mé diplomové práce. Uvádí se zde parametry experimentálního motoru, způsob osazení měřícího zařízení a v neposlední řadě jsou zde vyobrazena data, jež byla získána z měření.



obr. č. 1.:Schéma dvoupalivového vznětového motoru (převzato z [15])

3.1 Parametry experimentálního motoru

Diesellový motor Scania řady Euro V se zdvihovým objemem 12 litrů je vybaven vysokotlakým systémem common rail Scania XPI a plynovými vstřikovači KEIHIN, které vstříkují do sání motoru. Tlak metanu byl udržován na 2,8 bar nad sacím tlakem pomocí automatického regulátoru tlaku. [1][2]



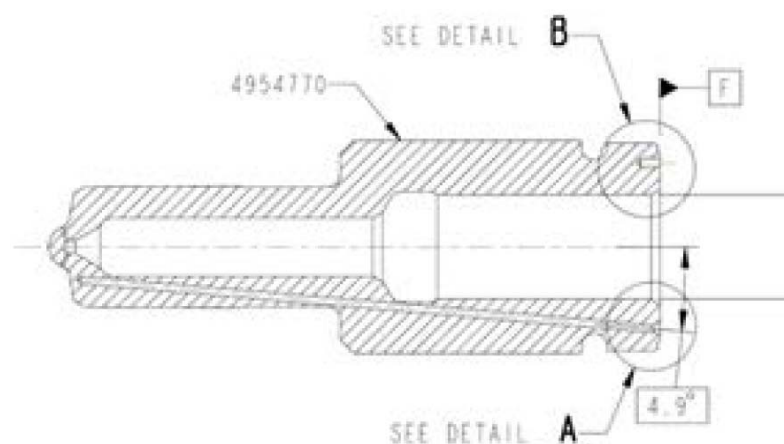
tab. č. 1.: Parametry experimentálního motoru (převzato a přeloženo z [2])

Vlastnosti	Hodnoty	Jednotky
Objem	1950	cm ³
Vrtání	127	mm
Zdvih	154	mm
Délka ojnice	255	mm
Geometrický kompresní poměr	17.3	-
IVO	346	°ATDC
IVC	-154	°ATDC
EVO	145	°ATDC
EVC	355	°ATDC

3.2 Osazení měřícího zařízení

Pro experiment měření na motoru Scania byla vyrobena tryska vstřikovače s uložením pro termočlánek typu K. [2]

Změřená teplota není skutečná teplota vstřikovací trysky, ale teplota termočlánu. Tuto skutečnost však pro zjednodušení Konigsson zanedbává a považuje ji za teplotu trysky. [1][2]



obr. č. 2.: Řez vstřikovací tryskou – umístění termočlánu (převzato z [2])

3.3 Data získaná z měření

Nejkritičtější pracovní bod z hlediska teploty vstřikovací trysky nastává v případě maximálních otáček a zatížení. Pro zachování teploty pod 300 °C na špičce vstřikovací trysky respektive na měřícím zařízení je potřeba v tomto provozním bodě snížit substituci nafty až na 84 %. [1][2]

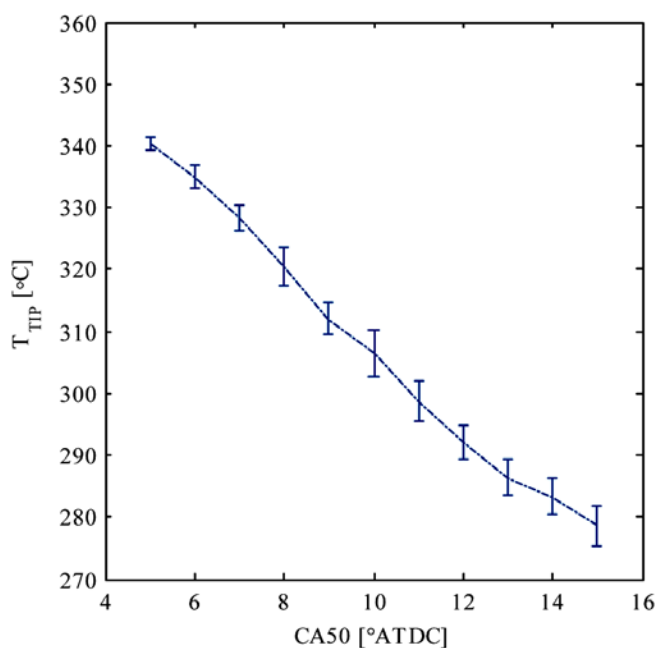


tab. č. 2.: Hodnoty nastavení motoru (převzato a přeloženo z [2])

Parametry	Nastavení	Jednotky
Otáčky motoru	1400	min ⁻¹
Lambda λ	1.6	-
Vstřikovací tlak	2000	bar
Teplota nasávaného vzduchu	30	°C
Teplota chladicí kapaliny	80	°C
Náhrada nafty	90	%
Fázování spalování		
- CA50 pro BMEP \leq 13bar	8	°ATDC
- CA50 pro BMEP = 23bar	15	°ATDC

Účinným nástrojem pro regulaci teploty trysky je změna fázování spalování. Vliv teploty na CA50 je znázorněn na obrázku č. 3. Zde můžeme vidět, že teplota klesá zhruba o 6 °C na 1 ° ATDC. [2]

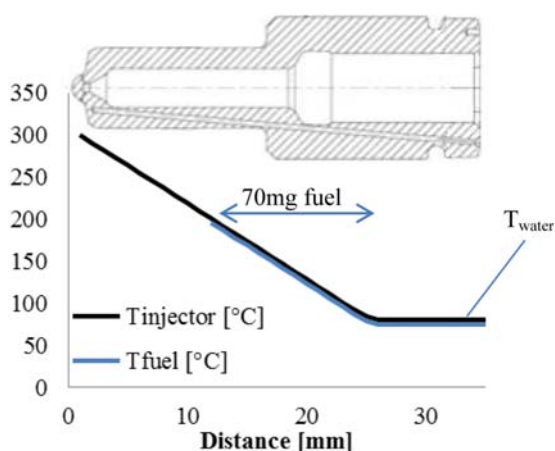
Fázování spalování je řízeno změnou počátku vstřikování motorové nafty.



obr. č. 3.: Graf teploty trysky v závislosti na fázování spalování, nastavení motoru dle tab. č. 2 (převzato z [1])

Obrázek č. 4 vystihuje předpoklad rozložení teploty v trysce.

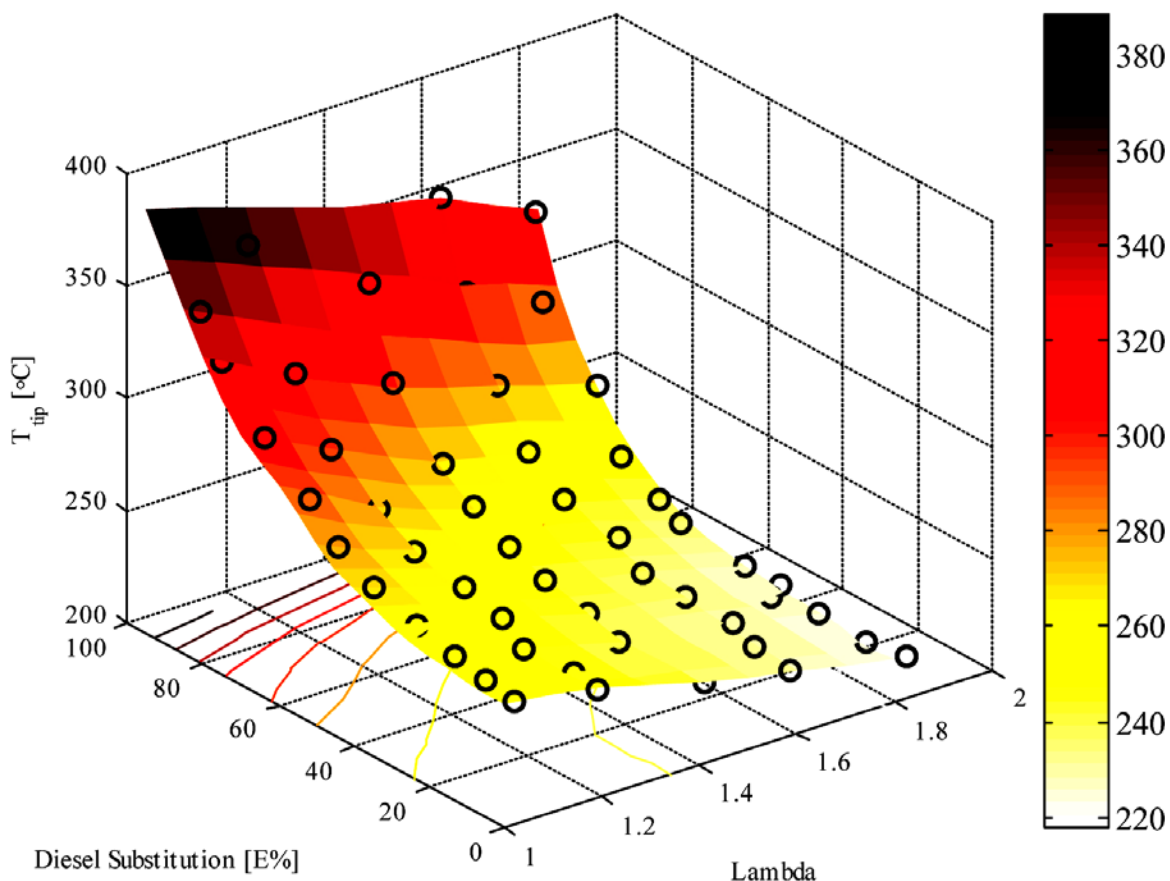
U tohoto pokusu se měnil pouze počátek vstřiku, vše ostatní zůstalo konstantní. Výsledkem je lineární pokles teploty trysky díky rostoucímu CA50. Teplota trysky poklesne v závislosti na snížení maximální teploty a tlaku ve válci. Zvyšováním CA50 dochází ke změně celého průběhu spalování a i ke změně produkovaných emisí.



obr. č. 4.: Graf teploty trysky v závislosti na její délce (převzato z [2])



13 bar BMEP



obr. č. 5.: Graf teploty trysky v závislosti na náhradě nafty a poměru vzduchu k palivu (převzato z [2])

Na obrázku č. 5 je znázorněn růst teploty špičky trysky v závislosti na bohatosti směsi a na náhradě nafty.

3.4 Shrnutí

V této kapitole je uveden vhodný, ale velmi nákladný způsob měření teploty špičky trysky vstřikovače. Výše jmenovaný způsob je vyhovující právě proto, že je termočlánek umístěn uvnitř a téměř až na špičce samotné trysky. Nedochozí tak k ovlivňování vnějšími vlivy a je umístěn v dostatečné blízkosti zkoumané části.

Z této kapitoly také vyplývá, že sice lze docílit snížení teploty trysky vstřikovače změnou časování zapálení směsi, ale to neovlivňuje jen teplotu špičky trysky, nýbrž i celý průběh spalování, tím pádem jsou ovlivněny i produkované emise. Proto je nutné zajistit snížení tepelného namáhání špičky trysky jiným způsobem, který je nezávislý na dávce a časování vstřikovaného paliva tryskou.



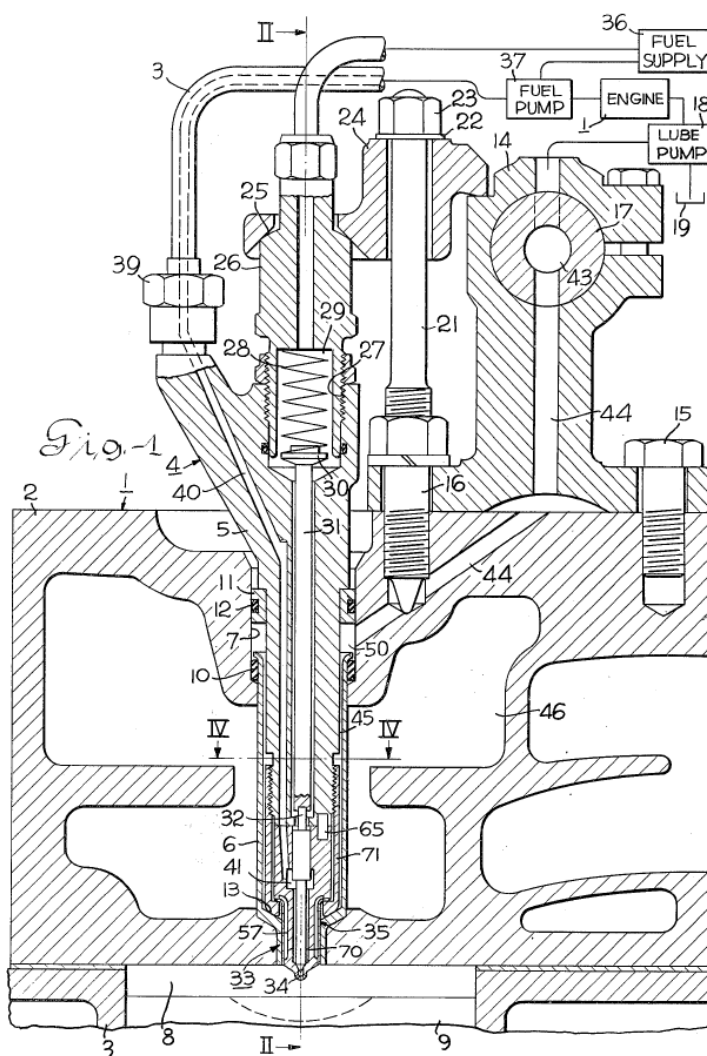
4 Chlazení trysky vstřikovače

Tato část diplomové práce je věnována řešerši na téma snížení tepleného namáhání trysky vstřikovače. Jsou zde také uvedeny různé způsoby chlazení trysky (teplenou trubicí, objímkou, přírubovým pouzdrům a vodním kanálkem).

4.1 Tepelnou trubicí

Patent US3945353 [11]

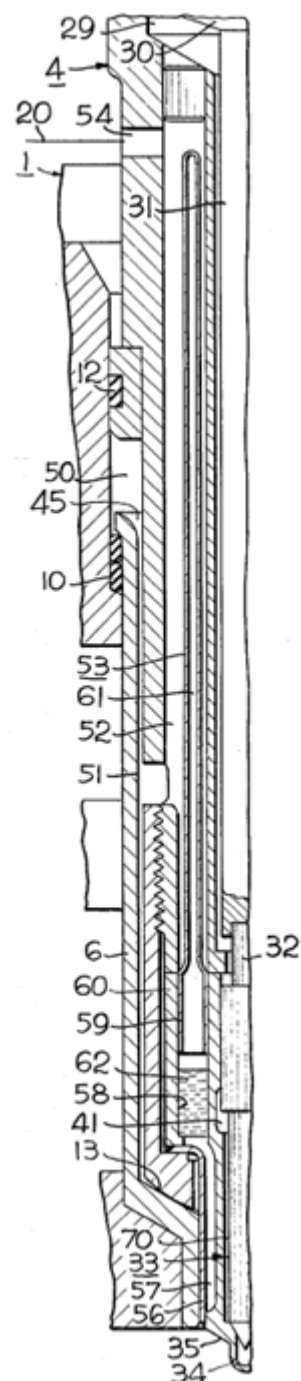
Motor (1) pohání palivové vstřikovací čerpadlo (37), které stlačuje tekutinu. Ta se přenáší potrubím (38) přes kanál (40) do zásobníku (41) a přes dutinku (33) ke kuželové ploše. Při dosažení předem stanoveného tlaku v komoře (33) se jehlový ventil (70) otevře a vstříkne palivo do spalovací komory (8). Díky vysokým teplotám ve spalovacím prostoru se značné teplo přenáší na špičku trysky (35). Prstencová drážka (57), která obsahuje chladicí médium, se zahřeje a způsobí, že se médium odpařuje. To pak prochází komorou (58) do dutiny (61) v tepelné trubicí (53). Je zde znázorněna pouze jedna tepelná trubice, ale může být rozmístěno i více tepelných trubic úhlově po obvodu průchodu (57). Odpařené chladicí médium v tepelné trubicí (53) je vystaveno chlazení hydraulickou kapalinou v axiálním kanálu (52). [11]



obr. č. 6.: Chlazení trysky tepelnou trubicí (převzato z [11])



Motor (1) také pohání hydraulické čerpadlo (18). Hydraulická chladicí kapalina je přenášena přes otvor (43) v kyvné hřídeli (17), přes průchod (44) k dutině po obvodu vstřikovače (50) a následně do prostoru (45) mezi objímkou (6) a vstřikovačem (5). Obvodová komora (45) přenáší tekutinu do radiálního otvoru (51) k axiálnímu kanálu (52) a prochází skrze výstupní otvor (54) do zpětného vedení (20) do hydraulické nádrže (19). Při průchodu hydraulické chladicí tekutiny axiálním kanálem (52) se teplo přenáší z tepelné trubici (53) na hydraulickou chladicí tekutinu. Jelikož se teplo odvede z tepelné trubice (53) hydraulickou chladicí tekutinou, chladicí médium v tepelné trubici (53) se po zkondenzování vrací zpět přes komoru (58) k prstencové drážce (57). Hydraulická chladicí tekutina je o teplotě přibližně 90 °C až 120 °C, což je podstatně nižší, než je bod varu chladicího média v tepelném potrubí. Pro účely ilustrace se předpokládá, že bod varu chladicího média je přibližně 205 °C. [11]



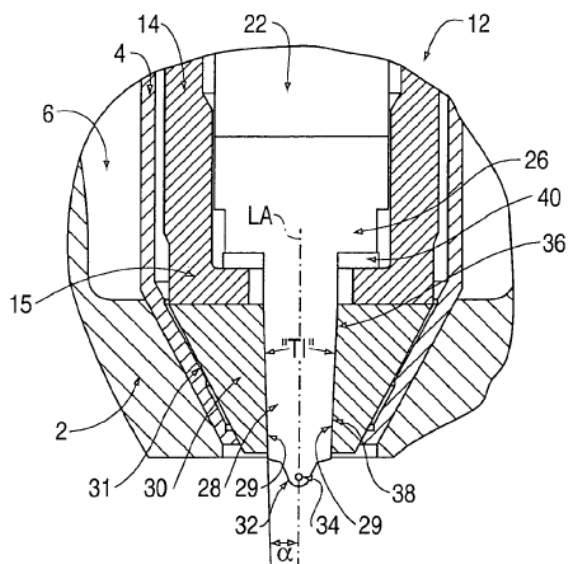
obr. č. 7:

Chlazení trysky tepelnou
trubicí (převzato z [11])

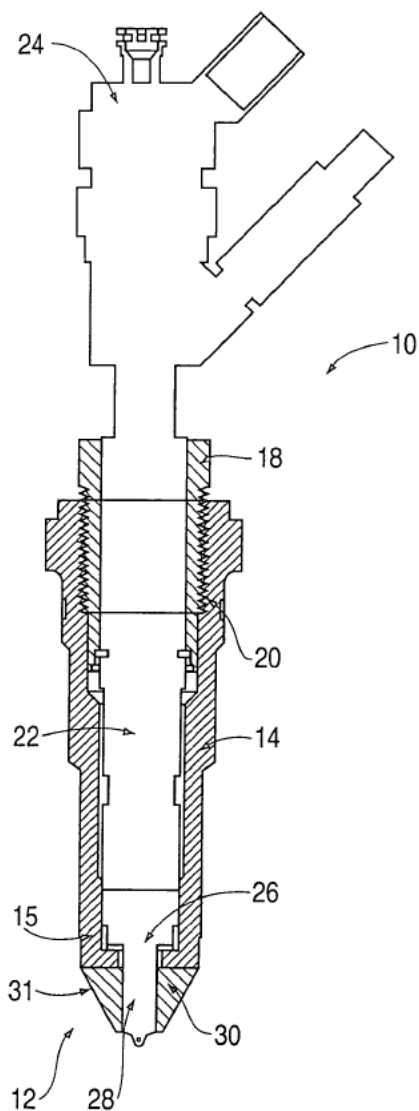
4.2 Objímkou

Patent US7028918

Uložení vstřikovače systému common rail (22) v trubkové objímce (14) pomocí šroubového spoje (20) s těsně uloženou horní částí objímky. Samostatnou součástí držáku vstřikovače je hliníková nebo měděná objímka (30) trysky (26), ta plní funkci jak těsnící, tak i chladičí. Na obrázku č. 9 je tento vstřikovač uložený v hlavě motoru (2), je vložen do pouzdra chladičího pláště (4), který zvyšuje odvod tepla z trysky (26), potažmo kuželového chladiče (30) do chladičí kapaliny (6). Tento chladičí plášť je vyroben ze slitiny mědi nebo korozi-vzdorné oceli. [7]

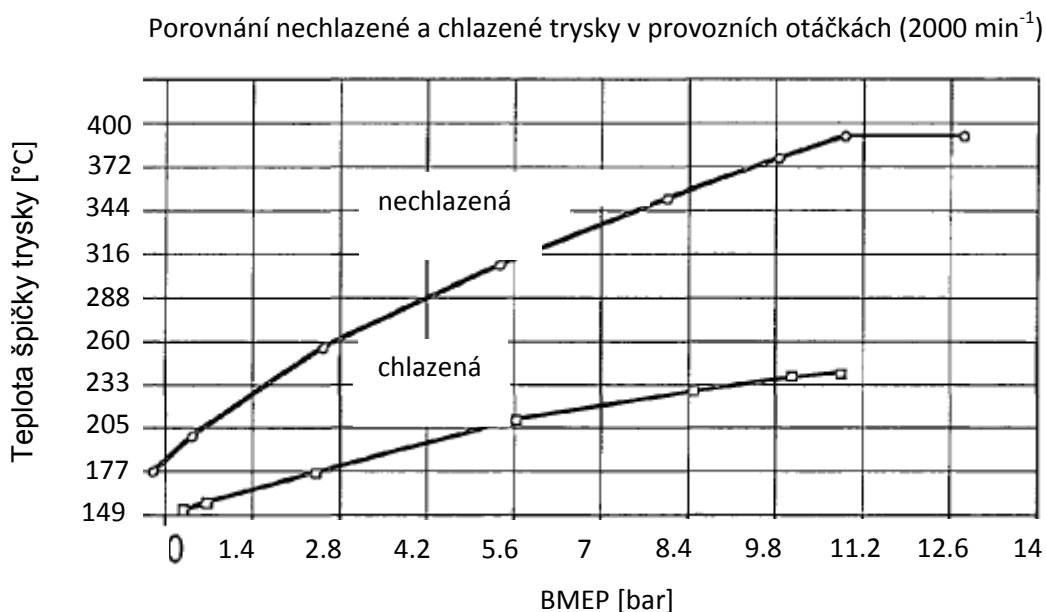


obr. č. 9.: Detail objímky s kuzelem (převzato z [7])



obr. č. 8.: Chlazení trysky
objímkou (převzato z [7])

Takto upravený vstřikovač byl provozován jako pilotní vstřikovač s nízkým objemem vstříknutého paliva přibližně $5 \text{ mm}^3/\text{zdvih}$ u spalovacího motoru pracujícího při 2000 otáčkách za minutu v různých režimech zatížení (BMEP). Výsledky můžeme zpozorovat na obrázku číslo 10. [7]



obr. č. 10.: Porovnání teploty trysky s chlazením a bez chlazení (převzato z [7])

4.3 Měděným prstencem – přírubové pouzdro

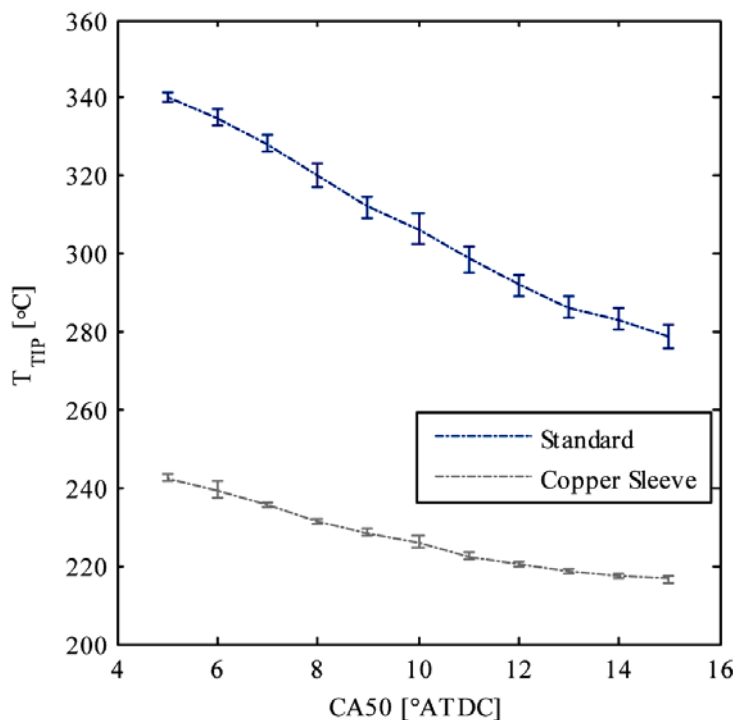
SAE 2012-01-0826

Chlazení trysky vstřikovače lze provést osazením měděného prstence, který je nalisován na trysce a těsně uložen v hlavě válců motoru. Vstřikovač a měděná objímka je zobrazena na obrázku č. 11.



obr. č. 11.: Tryska s měděným pouzdem (převzato z [1])

Rozdíl mezi standardní vstřikovací tryskou a tryskou s měděným prstencem je



obr. č. 12.: Porovnání teploty trysky s a bez chlazení (převzato z [1])

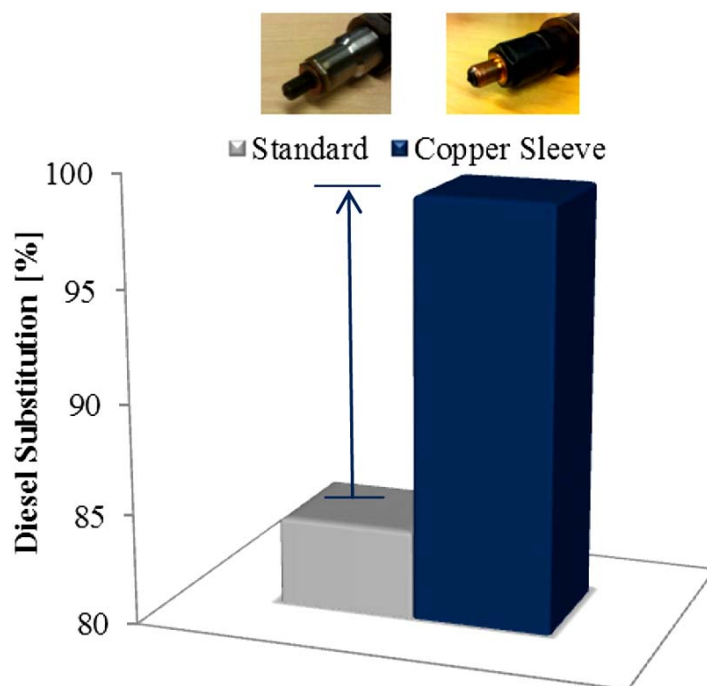
znázorněn na obrázku č. 12. Na tomto grafu jsou vyznačeny teploty v závislosti na



zvyšování fázování spalování (CA50).

Díky osazení měděného prstence se docílilo výrazného poklesu teploty vstřikovací trysky. Rozdíl teplot je v rozsahu 50 °C až 100 °C v závislosti na fázování spalování.

Zavedení měděné objímky poskytuje cestu ke snížení tepelného odporu. Je také pravděpodobné, že měděná objímka ovlivňuje proudění v štěrbině kolem špičky. [1][2]



obr. č. 13.: Náhrada nafty již není omezena teplotou trysky. (převzato z [1])

Na obrázku č. 13 je znázorněna možnost navýšení substituce nafty z 84 % na 99 % v nejkritičtějších pracovních bodech. Měděná objímka snižuje tepelný odpor mezi tryskou a chlazenou stěnou hlavy motoru. V tom se skrývá potenciál, neboť objímka dokáže významně snížit teplotu trysky a účinně se tak odstraní limitující faktor vysoké teploty. [1][2]

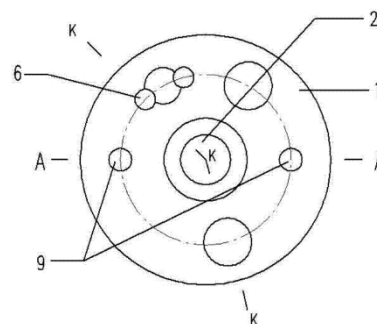


4.4 Vodním kanálem (tekutým médiem)

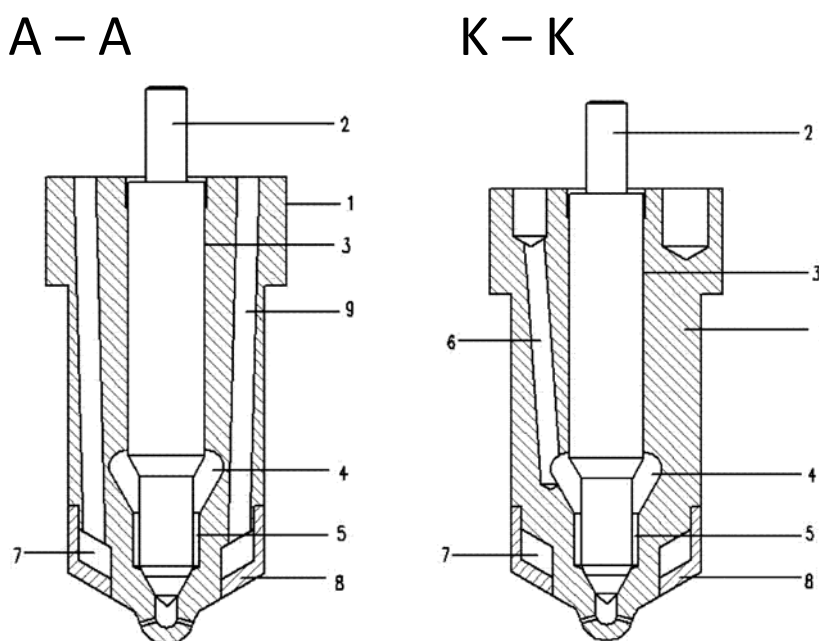
Patent CN202756145U

U tohoto patentu zamezuje tvorbě úsad v otvůrkách snížení teploty trysky pomocí chladicí kapaliny.

V tělese trysky (1) je jehlový ventil (2) uložený ve vodící drážce (3). Na konci vodící drážky (3) je zásobní prstencový prostor (4) na naftu, která je přiváděna přes kanál (6). Spodní část zásobního prstencového prostoru je zúžená vodící plocha (5) zakončená těsnícím kuželem. Tato tryska má dva chladící kanály (9), které vedou v tělese trysky (1) podél vstříkovací jehly (2) až ke špičce, kde je vytvořena prstencová chladící dutina (7) obklopená těsnící objímkou (8). [10]



obr. č. 14.: Pohled na vstup kanálů vstříkovací trysky (převzato z [10])

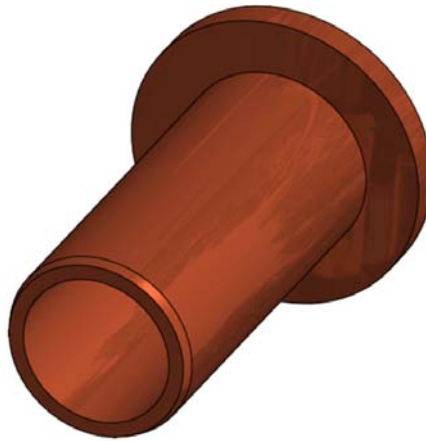


obr. č. 15.: Řez kanály vstříkovací trysky chlazené chladícím médiem (převzato z [10])



4.5 Shrnutí – výběr snižující tepelnou námahu trysky

Kapitola obsahuje různé způsoby chlazení trysky vstřikovače. Pro účely diplomové práce bylo nutné vybrat nejvhodnější způsob chlazení. Po prostudování problematiky bylo vybráno přírubové pouzdro, neboť je snadno vyrobitelné a finančně nenáročné. Hlavním důvodem bylo také to, že při použití pouzdra je potřeba pouze minimální zásahu do motorové hlavy a že problematicky seřiditelný vstřikovač systému common rail tak zůstává beze změn.



obr. č. 16.: Přírubové pouzdro



5 Snímání teploty

Je mnoho druhů snímačů teploty, ale všechny teplotní snímače odvozují teplotu z citlivosti na změnu fyzikální veličiny. V průmyslu se nejčastěji setkáváme se šesti typy snímačů teploty. Jsou to odporové a termočláňkové snímače, termistory, infračervené a bimetalové teploměry, snímače se změnou stavu a snímače s roztažitelnými kapalinami. Pro tento experiment, kde je potřeba zaznamenávat data v reálném čase a předpokládaná teplota měřeného předmětu se bude pohybovat až okolo 400 °C, připadají v úvahu jen dva druhy snímačů.

S ohledem k prostředí a zástavbovým rozměrům bylo žádoucí vybrat robustní a prostorově nejméně náročné provedení teplotního čidla. [16][17][21]

5.1 Termoelektrické snímače teploty (Termočláňky)

Termočláňek je teplotní čidlo využívající principu termoelektrického jevu. Při různé teplotě spoju dvou rozdílných vodičů se na každém konci indukuje jiné napětí.

Mimo měření teploty se dá termočláňek využít i jako zdroj elektrického proudu, ale jeho výkon a energetická účinnost je malá. [17][18]

Skládá se ze dvou pásků nebo drátků, každý je z jiného druhu kovu. Měřícím bodem je jejich spoj. Změny teploty ve spoji způsobují změnu termoelektrického napětí mezi dvěma různými materiály. Jak teplota spoje roste, vzrůstá i výstupní termoelektrické napětí. [16][17]

Termočláňky jsou k dispozici v různých kombinacích kovů a kalibrací. Kalibrace určuje pracovní podmínky i teplotní rozsah. Maximální naměřitelná teplota klesá se zmenšujícím se průměrem termodrátků a naopak se zvyšuje odezva rychlosti změny teploty.



5.1.1 Typy termočlánků

Drátové termočlánky svařované do kuličky

Termočlánek se skládá ze dvou termočlánekových drátů spojených svařením do kuličky. Jelikož je tento spoj nechráněný, jsou zde aplikační omezení. Jedním z těchto omezení je kapalinové prostředí. Termočlánek a samotné termodrátky by mohly korodovat nebo oxidovat. Dalším omezením je uzemnění. Je nutné se vyvarovat přímému spojení s kovem, přes který vede elektrický systém. Tento spoj by mohl ohrozit měření. Tyto termočlánky se obvykle využívají pro měření teploty plynu. [16][18]

Termočlánekové sondy

Termočláneková sonda se skládá z termočlánekových drátů umístěných v kovovém plášti. Plášť se obvykle vyrábí z nerezové oceli a nebo Inconelu. Na větší teplotní rozsahy se používá Inconel. V jiných případech se často právě díky široké chemické odolnosti dává přednost nerezové oceli. K dispozici jsou i jiné zvláštní materiály pláště používané pro velmi vysoké teploty. [16][18]

tab. č. 3.: Teplotní rozsahy běžných termočlánků (převzato z [16])

Teplotní rozsahy běžných termočlánků			
Kalibrace	Teplotní rozsah	Standardní přesn.	Výběrová přesn.
J	0°C až 750°C (32°F až 1382°F)	Více než 2.2°C nebo 0.75%	Více než 1.1°C nebo 0.4%
K	-200°C až 1250°C (-328°F až 2282°F)	Více než 2.2°C nebo 0.75%	Více než 1.1°C nebo 0.4%
E	-200°C až 900°C (-328°F až 1652°F)	Více než 1.7°C nebo 0.5%	Více než 1.0°C nebo 0.4%
T	-250°C až 350°C (-328°F až 662°F)	Více než 1.0°C nebo 0.75%	Více než 0.5°C nebo 0.4%

5.1.2 Typ měřícího spoje

Typ měřícího spoje je vázaný na prostředí, ve kterém bude pracovat. Měřící konec termočlánekové sondy má tři různá provedení. Prvním z nich je uzemněný měřící konec sondy. V tomto typu jsou termočlánekové dráty fyzicky spojeny s vnitřní stěnou pláště termočláneků. Díky tomu se získává dobrý přenos tepla z vnějšku přes



stěnu pláště. Dále je také žádoucí, že termočlánek má velmi rychlou časovou odezvu na změnu teploty a zároveň je velmi citlivý. U neuzemněných spojů je termočlánek oddělen izolací od stěny pláště. U tohoto termočlátku je pomalejší odezva než u typu uzemněného. Posledním provedením je termočlánek s nechráněným spojem. Tento typ má spoj vystaven okolní atmosféře, je vystrčený vně z konce pláště. Nabízí nejlepší odezvu, avšak použití je omezeno na suché nekorozivní a beztlakové aplikace. [16][17][18]

Provedení měřícího konce termočlátku



obr. č. 17.: Typy měřících konců sond termočládků (převzato z [16])

5.1.3 Základní provedení izolací

tab. č. 4.: Teplotní rozsahy běžných termočládků (převzato z [18])

Vnitřní izolace	Vnější izolace	Max. teplota
PVC	PVC	105 °C
FEP (fluoroplast)	FEP	205 °C
TFE, skelné vlákno	ServTex	260 °C
TFE	TFE	260 °C
Skelné vlákno	ServTex	290 °C
Polyimid (slinutý kapton)	Polyimid	315 °C
Skelné vlákno	Skelné vlákno	480 °C
Dvojitě ovinutí skelným vláknem	Skelné vlákno	480 °C
Vysokoteplotní skelné vlákno	Vysokoteplotní skelné vlákno	705 °C
Silikonové vlákno	Silikonové vlákno	1093 °C
Keramické vlákno	Keramické vlákno	1200 °C



5.2 Odporové snímače teploty

Odporové snímače teploty využívají změny elektrického odporu kovu v závislosti na jeho teplotě. Patří k nej přesnějším snímačům teploty, mají výbornou stabilitu a opakovatelnost. Jsou relativně odolné elektrickému rušení. Využívají se proto mimo jiné i u zařízení s vysokým napětím. [21][24]

Nejčastěji jsou odporové snímače tvořeny tenkým drátem dané délky, navinutém na keramickém nebo skleněném tělísku. Odporový drát je vyroben z materiálu, u něhož již známe závislost změny odporu na změně teploty. Při zvyšující se teplotě se nelineárně zvyšuje i ohmický odpor drátku. Nelinearita závisí na použitém materiálu drátku a rozmezí teplot, které měříme. Tuto závislost charakterizuje průměrný teplotní součinitel odporu α .

Změna elektrického odporu kovu na změně teploty může být vyjádřena vztahem:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha_e \cdot t) \quad (1)$$

Kde R_t [Ω] je odpor při teplotě t [K], R_0 [Ω] je odpor při nulové teplotě t_0 [K] a α_e [K^{-1}] je teplotní součinitel odporu. Element je velmi křehký, a proto se obvykle vkládá do ochranné sondy. [22][23]

5.2.1 Typy odporových snímačů

Odporové elementy

Tento typ je nejjednodušší formou odporového teploměru. Skládá se z drátku navinutého na skleněném nebo keramickém tělísku. Používají se ve stísněných prostorách. Nejmenší elementy jsou dostupné v těchto rozměrech:

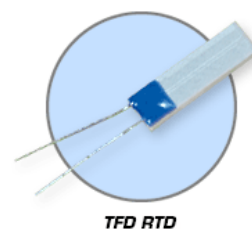
(1x10)mm; (1.3x6)mm; (1.8x3)mm. [21][24]



Odporové elementy pro povrchové teploty

Tento zvláštní typ odporového elementu je konstrukčně nejtenčí, aby se dosáhlo dobrého kontaktu při měření teploty plochého povrchu. Nejmenší element tohoto typu je v rozměru:

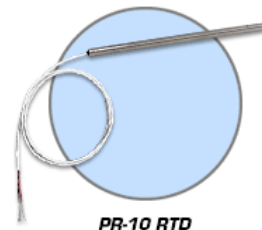
(9.5x1.9x0.9)mm [21][24]





Odporové sondy

Odporová sonda je robustní. Skládá se z odporového elementu vloženého do kovového pláště. Tento plášť je trubka, jež chrání element před vnějším prostředím. Nejmenší sonda je o průměru 3.17 mm a o délce 15 mm. [21][24]



obr. č. 18.: Typy kovových odporových snímačů teploty (převzato z [21])

5.2.2 Shrnutí – výběr teplotního snímače

Kapitola obsahuje informace o různých druzích a typech teplotních snímačů. Pro účely diplomové práce bylo nutné vybrat jeden z nejtenčích snímačů. Po prostudování výkresové dokumentace týkající se uložení vstřikovače v hlavě motoru byl vybrán drátový termočlánek svařovaný do kuličky, neboť je poměrně snadno výrobitelný a velice tenký. Vzhledem k dostupnosti a teplotnímu rozsahu byl zvolen termočlánek s kalibrací K a s termodrátky z materiálů – alomega, chromegea.

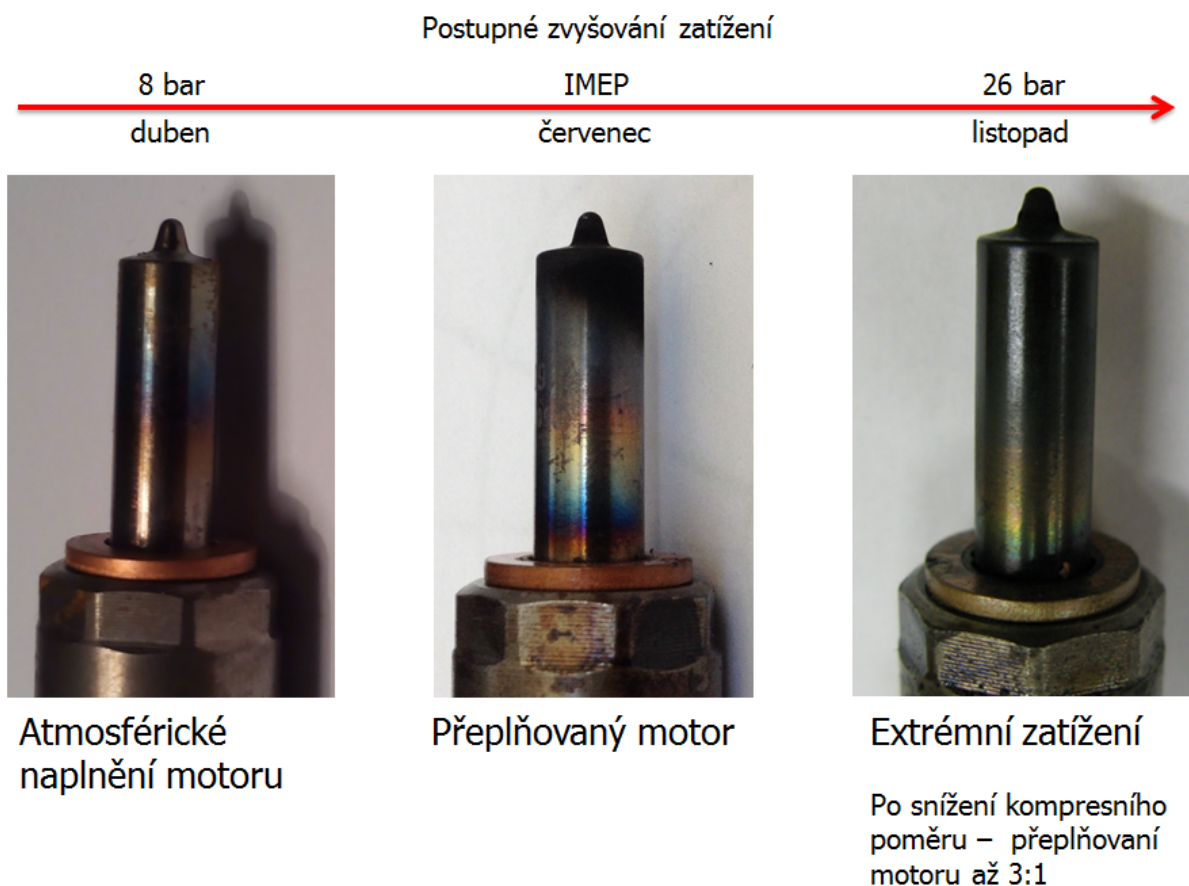
Jeden termočlánek má průměr drátku 0.25 mm a druhý termočlánek má drátky menší, ty jsou o průměru 0.07 mm. Oba termodrátky jsou potaženy teflonovou izolací o tloušťce stěny 0,07 mm.



6 Působíště

Tato kapitola se věnuje jednoválcovému dvoupalivovému vznětovému motoru, na kterém byla má diplomová práce uskutečněna.

Jsou zde rozepsány parametry experimentálního motoru a jeho ovládání. Dále jsou zde uvedeny informace o složení spalujícího paliva.



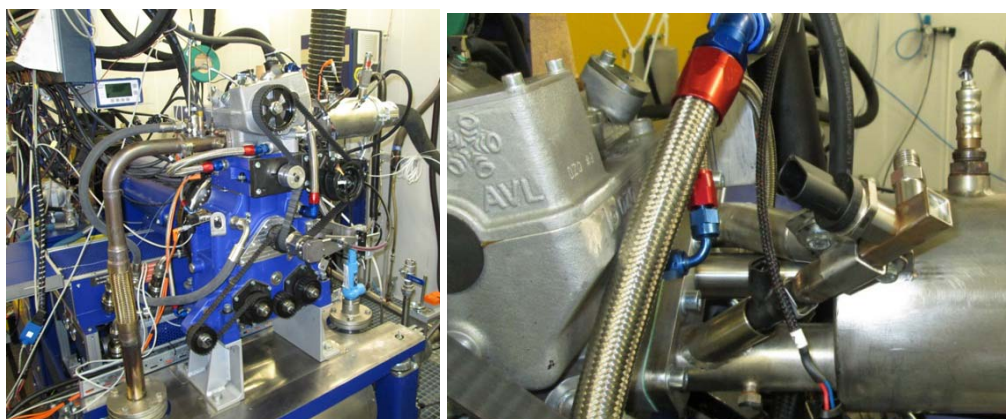
obr. č. 19.: Detail teplotně zatížené vstřikovací trysky, po testování na DDF

Na obrázku č. 19 je vstřikovací tryska systému common rail, která již prošla značným teplotním namáháním v dvoupalivovém provozu. Na těchto obrázcích je patrné, že výsledky mé práce jsou velice důležité pro dlouhodobý provoz motoru. Je zde vidět postup zbarvení vstřikovací trysky. Zbarvení bylo ovlivněno postupným zvyšováním zatížení a vlivem velmi vysokých teplot. Díky této teplotě se zanesly otvůrky trysky úsadami vzniklými z rozkladu nafty a následkem toho se snížil průtok tryskou. V listopadu roku 2016 bylo zjištěno z měření vstřikovače na vstřikovací stolici, že se snížil průtok paliva tryskou až na necelou polovinu průtoku nového vstřikovače.



6.1 Experimentální motor

Experiment jsem prováděl na výzkumném jednoválcovém naftovém motoru AVL 5402 (obr. č. 20). Specifikace motoru jsou uvedeny v tabulce č. 5. Motor je vybaven systémem vstřikování common rail s centrálně uloženým vstřikovačem. Pro duální provoz paliva byl instalován v sacím potrubí CNG vstřikovač, je zobrazen na obrázku č. 20 (vpravo). Řídicí jednotka motoru (ECU) Ricardo rCube2 byla použita pro nezávislou kontrolu vstřikování obou paliv. Řídicí algoritmus je postavený v prostředí Matlab / Simulink. Umožňuje úplnou kontrolu nad motorem. Řídicí algoritmus ovládá tlak v railu a přesné ovládání více vstřiků během jednoho pracovního cyklu pro obě paliva. K ovládání řídicí jednotky je použit software INCA.[19]



obr. č. 20.: Jednoválcový výzkumný motor a detail instalace vstřikovače zemního plynu v sacím potrubí (převzato z [19])

Motor je spojen s asynchronním dynamometrem. Vnitřní geometrické parametry motoru jako kompresní poměr, ani konstrukce spalovací komory nebyla upravena pro zkoušky dvojího paliva. Laboratoř je vybavena přívodem 200 bar CNG. Tlak byl snížen ve vyhřívaném automobilovém regulátoru tlaku Metatron.[19]

tab. č. 5.: Specifikace výzkumného jednoválcového motoru AVL 5402 (převzato z [19][20])

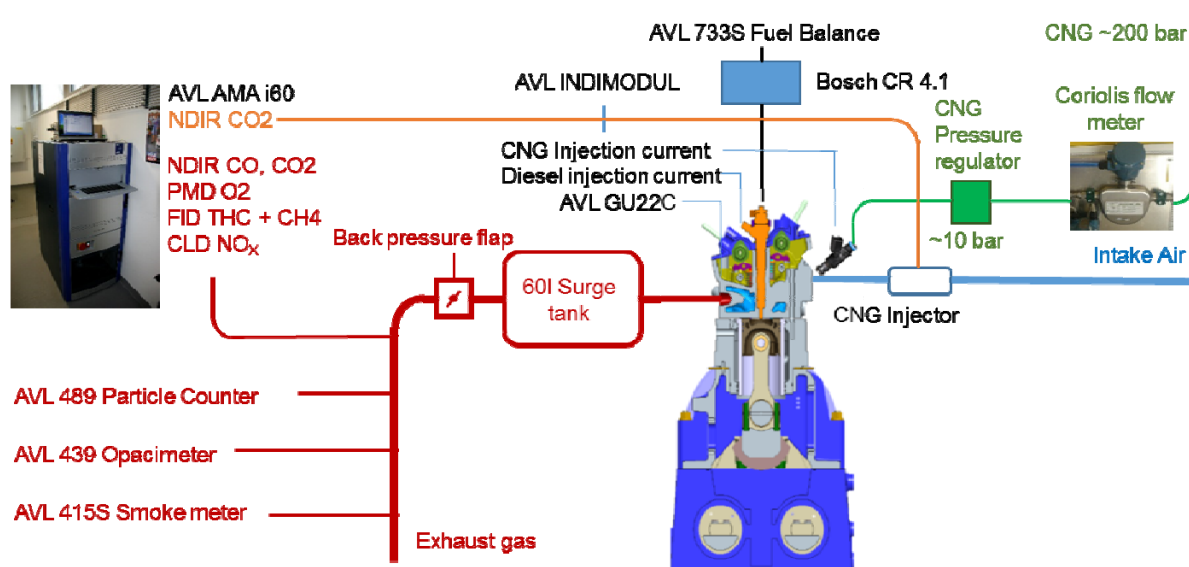
Vrtání x zdvih	85 x 90 mm
Kompresní poměr	16:1
Délka ojnice	138 mm
Počet ventilů	4
časování ventilů EVO / EVC	128 / 378 ° aTDC
IVO/IVC	352 / 578° aTDC



Typ vstřikování nafty	BOSCH Common Rail, CP 4.1
Vstřikování zemního plynu	VW PFI CNG vstřikovač
Označení vstřikovací trysky	DLLA 162 P2160
Otvory trysky	8 x 0.12 mm x 162°
Řídicí jednotka motoru	Ricardo rCube2 rapid prototyping ECU
Měření tlaku ve válci	Cylinder pressure transducer AVL GU22C
Vírové číslo (Swirl rate)	1.7
Nafta	Cetanové číslo > 48, bez bio složek
CNG	97.1 % CH ₄ , 1.56 % C ₂ H ₆ , 0.86 % N ₂ , 0.27 % C ₃ H ₈ , 0.11 % CO ₂ , 0.05 % 2-methylpropan (i-butan), 0.04 % n-butan, (i-pentan)+(n-pentan) 0.01

6.2 Měřicí zařízení

Spotřeba motorové nafty byla měřena AVL 733 dynamickou váhou paliva a hmotnostní průtok stlačeného zemního plynu (CNG) průtokoměrem 2700R11 Micro Motion Coriolis. Kouřivostní číslo bylo měřeno AVL 415 měřičem hustoty kouře a neprůhlednosti s AVL 439 opacimetrem. [19]



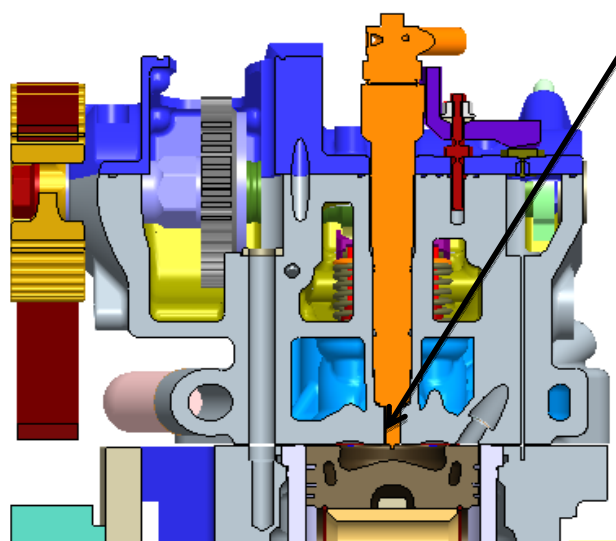
obr. č. 21.: Měřicí zařízení (převzato z [19])



7 Postup práce

Tato kapitola je věnována vlastnímu postupu práce. Vzhledem k životnosti trysky a možnosti bezproblémového testování je potřeba zabudování teplotního čidla pro měření teploty trysky naftového vstřikovače do spalovacího prostoru.

Před samotným měřením teploty trysky vstřikovače bylo nutné vybrat vhodné teplotní čidlo, se kterým bude měření prováděno. Následně se musela promyslet trasa vývodu termočládku ze spalovacího prostoru. Po vyhotovení vhodné trasy bylo nutné vyzkoušet funkční způsob svařování termočládků. Pozornost byla věnována i teplotním zkouškám a úpravě těsnění. Následné měření bylo prováděno hned v několika pokusech.



Teplotní čidlo

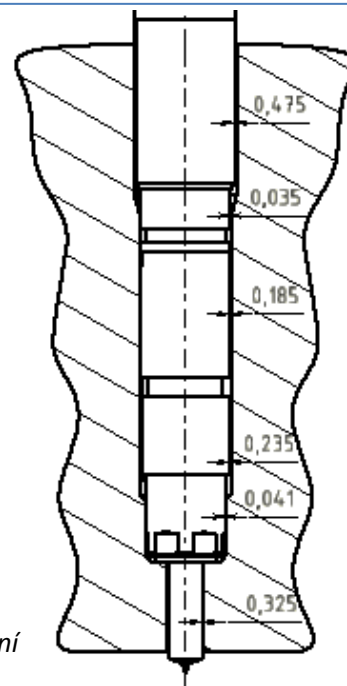
obr. č. 22.: Řez motorem AVL 5402 (převzato z [20])

7.1 Volba teplotního čidla

Vzhledem k malému prostoru a předpokládané vysoké teplotě trysky byla vybrána teplotní čidla vytvořená z termočládků. Byl použit termočlánek svařovaný do kuličky s kalibrací K, jelikož má vhodné vlastnosti i v malém průměru termodrátku. Tento výběr byl vhodný z důvodu malých zástavbových rozměrů, jednoduchosti provedení a přijatelné ceny. Tyto důvody vyloučily možnost použití plášťových sond, které jsou velké a nevhodné k připojení k trysce.

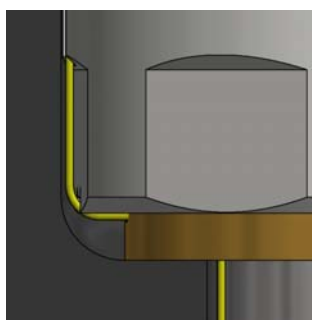


Nejjednodušší a nejméně náročnou cestou bez větších zásahů do motorové hlavy je vést termodrátky podél vstřikovače. Tato cesta omezuje průměr termodrátku na maximální hodnotu 0,035 mm včetně izolace. Takový termočlánek se ale s požadovanými parametry nevyrábí. Díky velmi malým vůlím v uložení vstřikovače je zapotřebí konstrukční úprava tělesa vstřikovače nebo uložení tělesa vstřikovače v hlavě a jeho těsnění.



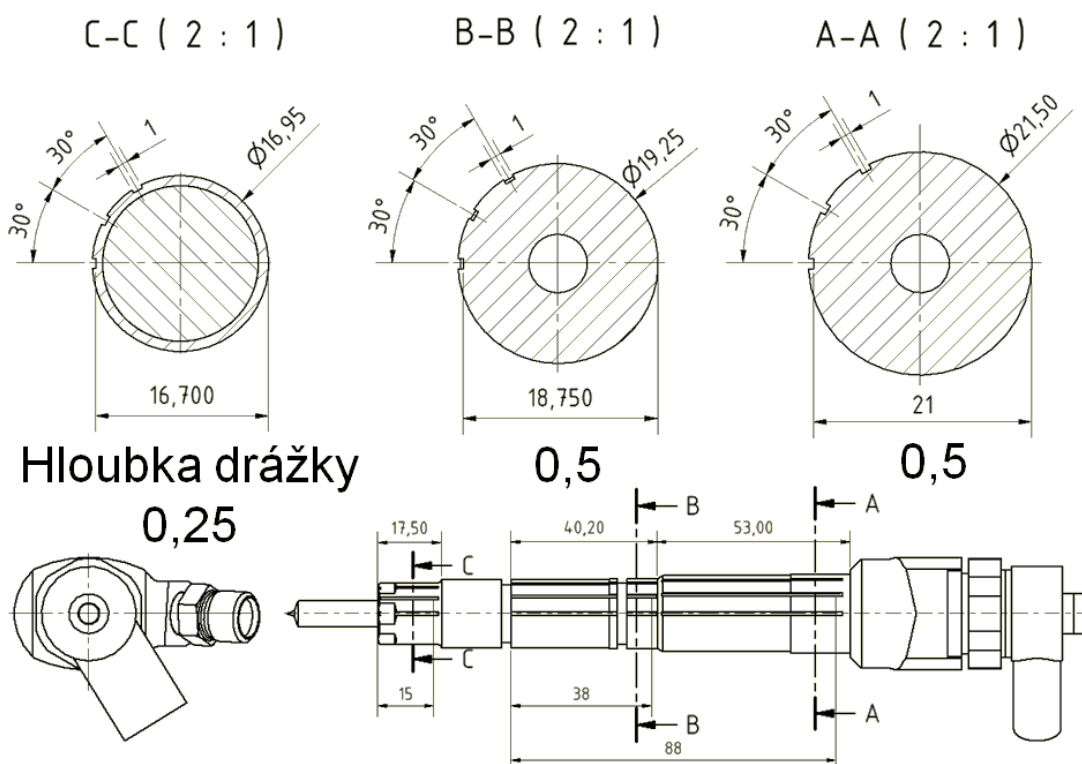
obr. č. 24.: Rozměry vůlí v uložení

7.2 Trasa

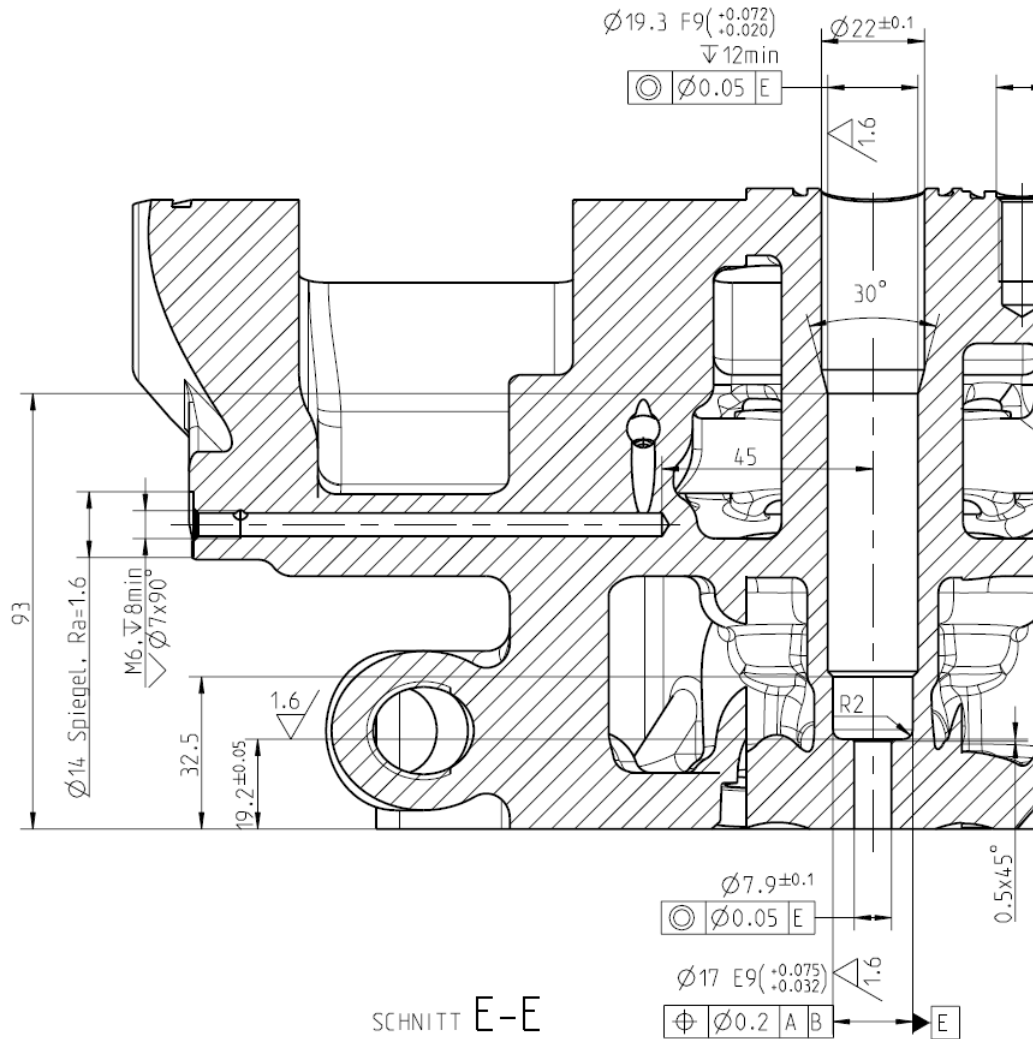


Prvním návrhem byla úprava vstřikovací trysky vyfrézováním drážek po celé délce vstřikovače. Toto řešení nebylo vhodné z důvodu oslabení stěny matice držící trysku.

obr. č. 23.: Konstrukční úprava vstřikovače 03L 130 277J



obr. č. 25.: Výkres vstřikovače s drážkami pro uložení vedení teplotních snímačů.

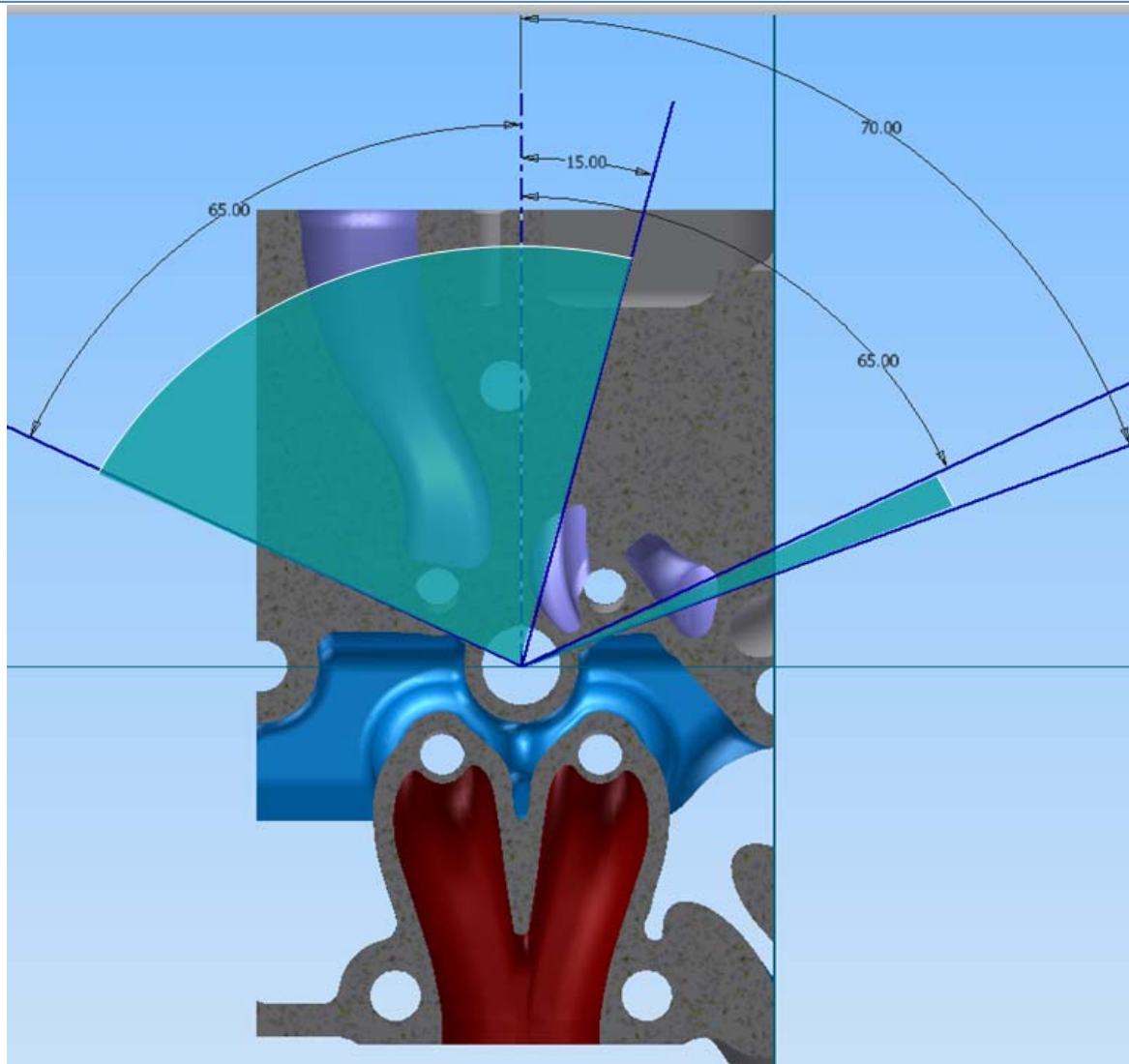


obr. č. 26.: Výkres uložení vstřikovače v hlavě motoru. (převzato z [25])

Druhým návrhem byla úprava hlavy válce. Bylo zapotřebí získat od výrobce 3D model hlavy experimentálního motoru. Tento model se důkladně rozřezal a hledala se v něm vhodná trasa hliníkovým masivem pro vyvedení termodrátků. Cesta musela vést tak, aby výsledný zásah neoslabil materiál a aby nedošlo k jeho následnému poškození. Jelikož je kvůli přesnému měření potřeba navařit termočlánek na trysku vstřikovače a protože se počítá s jeho častou výměnou, tak je zapotřebí vést termodrátky podél vstřikovače ven.

Na následujícím obrázku č. 27 je vyobrazena oblast vhodná k provedení trasy.

Více fotografií k této problematice můžete nalézt na přiloženém CD.



obr. č. 27.: Řez hlavy válců kanály kolmo na osu vstříkovače – inkriminovaná místa

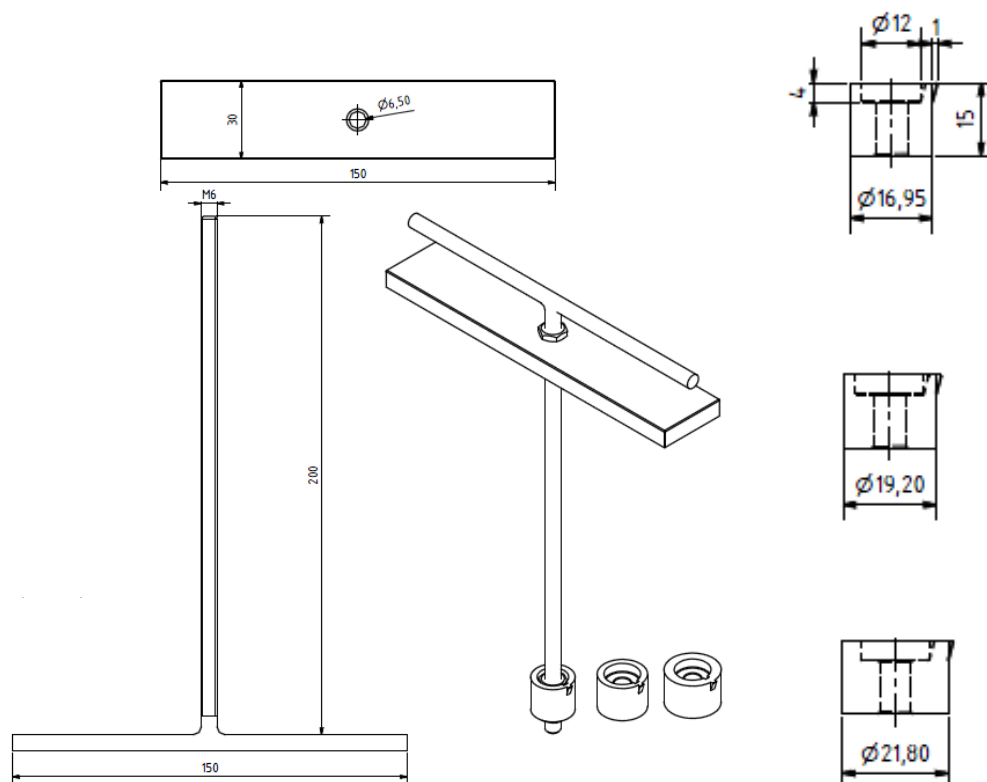
Z výše jmenovaných způsobů, které popisují možnosti vedení trasy vývodu termočlánku ze spalovacího prostoru, byla pro diplomovou práci vybrána druhá varianta – tedy úprava hlavy válce tak, aby zde nevznikly žádné vady.

Úpravu vstříkovací trysky vyfrézováním drážek po celé délce vstříkovače nebylo možné provést, neboť zde dochází k oslabení stěny matice držící trysku.

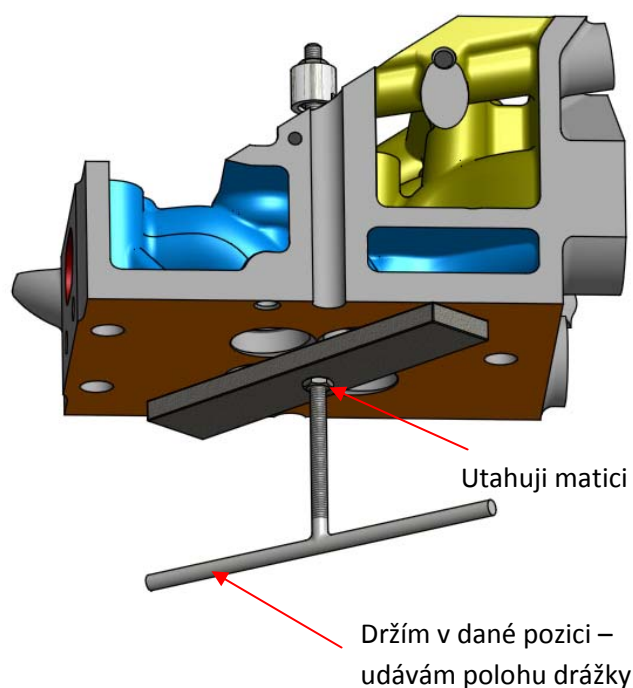
Pro úpravu hlavy válce bylo zapotřebí navrhnout řešení pro tvorbu drážky v uložení vstříkovače v hlavě motoru. Tato drážka mohla být provedena pouze oblasti vyznačené na obr. č. 27.



První návrh řešení pro zhotovení drážky v hlavě motoru.



V tomto návrhu je zvoleno jednoduché řešení pro obrázení drážky pomocí prstence s nožem. Jak je vidět na obrázku, prstenec je zaaretován na pozici pomocí kontramatek na závitové tyči, jež je na konci opatřena madlem. Zaaretování se provede až po prostrčení závitové tyče otvorem pro trysku. Do materiálu je prstenec tažen pomocí utahování matice opírající se o roznášející desku opřenou o spodní část hlavy.



obr. č. 28.:Přípravek na obrázení drážky

Druhým návrhem řešení pro tvorbu drážky v hlavě motoru bylo použití stojanové vrtačky s dlouhým vrtákem. Aby se mohla použít na výrobu drážky stojanová vrtačka, bylo zapotřebí vyrobit a osadit hliníkový negativ uložení vstřikovače hlavy válců a až poté se může opatrně pomocí dlouhého vrtáku odvrtnat prostor pro vyvedení termodrátků. Kdyby se tak neučinilo, vrták by se zlomil, protože vrtáky jsou vytvořeny tak, aby vyvrtávaly díry do plného materiálu.

Výše jmenovaný způsob vytvoření drážky byl pro naše účely vhodnější. V případě obrázení drážky pomocí prstence s nožem by bylo zapotřebí vytvořit několik těchto kusů prstenců. Pro druhý způsob, kdy je drážka v hlavě motoru vytvořena stojanovou vrtačkou, stačí pouze vytvořit jeden jednoduchý negativ a samotné odvrtání je již snadné.

Při vytváření drážky v hlavě motoru postupoval mechanik dle výkresové dokumentace (viz příloha P9), ale i přesto se vlivem dlouhého tenkého vrtáku drážka mírně odklonila od kolmého směru. Vyrobena drážka nepřesahuje vymezený prostor.



obr. č. 29.: Vyobrazení úhlů pro překreslení na vstřikovač, pod kterým je vytvořen prostor pro vedení termodrátků.



obr. č. 30.: Detail uložení vstřikovače s drážkou pro vývod termodrátků

7.3 Svařování termodrátků

Aby nedošlo k poškození funkční vstřikovací trysky vstřikovače systému common rail, byla pro testování svažitelnosti termočlánku obstarána vyřazená vstřikovací tryska z osobního automobilu. Testovací tryska byla z jiného typu vstřikovače a to z dvoupružinkového vstřikovače používaného v koncernových automobilech. Konkrétně z Volkswagenu Golf IV generace s označením motoru ALH (1.9TDI s rotačním vstřikovacím čerpadlem a výkonem 66kW). Motor s touto tryskou najel 350 000 kilometrů.

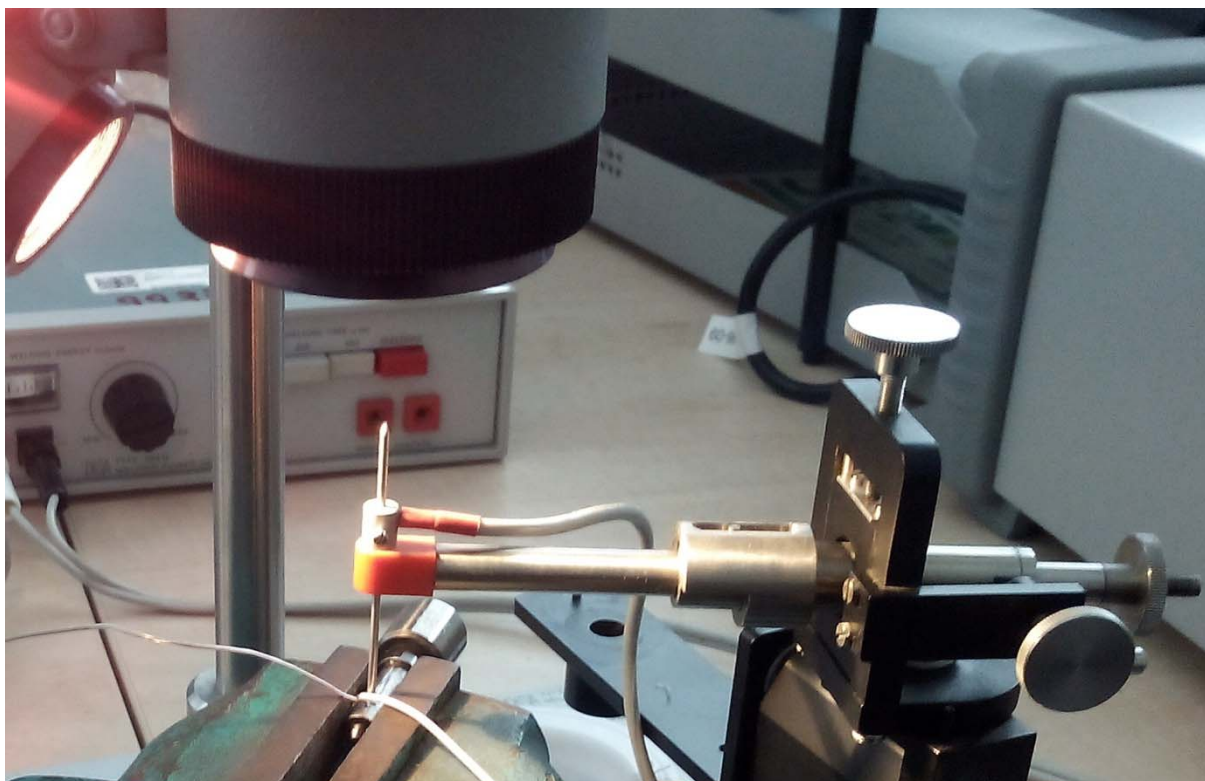
K tomuto účelu tato tryska dostatečně postačovala. Byla pouze očištěna drátěným kartáčem od vrstvičky sazí a odmaštěna odmašťovačem. K trysce se několikrát za sebou podařilo přivařit termodrátěk, bohužel vždy jen jeden pól. Nešlo tedy vytvořit termočlánek – spoj dvou termodrátků a trysky.

Pro další pokusy se nechala zkušební tryska zdrsnit. Na jedné straně se



vytvořila drážka a na druhé ploška.

Po této úpravě se občas povedlo vytvoření termočlánku, ale vytvořený spoj nedostatečně držel na trysce. Tyto pokusy byly prováděny pomocí svařovacího zařízení původně určeného pro svařování drátků pro měření rychlosti proudění vzduchu (Anemometr).



obr. č. 31.: Foto svářecího zařízení určeného na sváření anemometru.

Po přechodu na svářečku určenou pro termočlánkové spoje se rapidně zvýšilo procento zdařených pokusů.

7.4 Tepelná zkouška

Každý zdánlivě kvalitní termočlánkový spoj se podrobil tepelné zkoušce. V tomto procesu byla využita horkovzdušná pistole pro ohřívání a multimetr pro měření teploty termočlánku. Ohřívala se tryska s termočlánkem do 550 °C a následně se nechala vychladnout na pokojovou teplotu. Toto se několikrát opakovalo a po každém cyklu byl kontrolován spoj i izolace pod mikroskopem.

Tímto tepelným zatěžováním se zjistilo, že izolace nevydrží přímý nápor horkého vzduchu produkovaného horkovzdušnou pistolí o teplotě 400 °C, ale při přechodu tepla sáláním z trysky nebyla žádná změna na izolaci zpozorována.

Pokud se neporuší měděné těsnění mezi hlavou motoru a vstřikovačem,



nebudou kolem trysky a tedy i kolem termodrátků proudit horké spaliny. Izolace bude tedy čelit pouze sálání tepla z okolí. Za těchto podmínek izolace termodrátků vydrží.

Jakmile se osvojil způsob, jak postupovat tak, aby se vytvořil funkční termočlánekový spoj na zkušební trysce, mohlo se přejít na tvorbu spoje na novém vstřikovači systému common rail. Ale ještě předtím, než se navaří termočlánek, se musí poupravit těsnění uložení vstřikovače.

7.5 Těsnění

Jelikož je potřeba se dostat s termodrátky podél vstřikovače až do spalovacího prostoru, tak je nutné vymyslet a zhotovit průchod tepelným těsněním tak, aby se zamezilo úniku tlaku. Originální těsnění je zhotovené z 1,5 mm tlusté mědi. Tuto tloušťku je nutné dodržet, jinak by se změnila geometrie vstřiku a následně i průběh spalování.



obr. č. 32.: Fotografie originálního těsnění

Je hned několik způsobů řešení. Prvním řešením je úprava originálního těsnění a to provrtáním těsnění zhruba uprostřed tloušťky, nebo drážka vytvořená na povrchu těsnění posléze umístěná tak, že drátky povedou mezi těsněním a vstřikovačem. Na straně těsnění k hlavě motoru by bylo vše bez změny. Třetí možností je těsnění zhotovené z dvou kusů. Tato těsnění by byla použita z opravné sady pro rotační vstřikovací čerpadla a to o poloviční tloušťce originálního těsnění - 0,75 mm/kus. Do obou kusů by byla vypilována pomocí jehlových pilníků drážka, která by byla tak velká, aby se izolace drátků lehce zmáčkla.



7.6 Měření

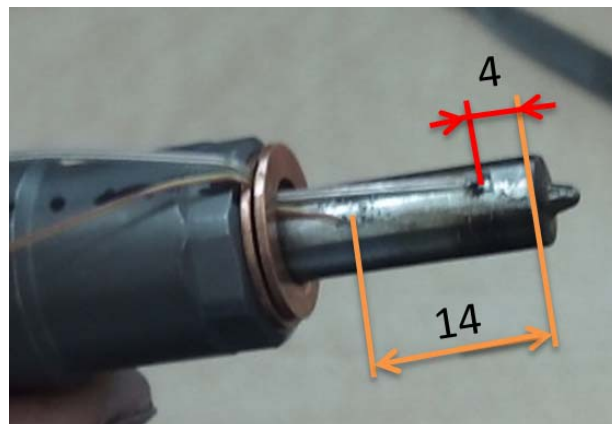
7.6.1 První testování

Z předchozích možností úpravy těsnění vstřikovače se vybrala poslední varianta – tedy dvě tenká těsnění s drážkou.

Jako utěšňovací hmota pro spojení obou kusů těsnění a vymezení štěrbin mezi termodrátky se použilo silikonové těsnění určené na motory. Bylo zvoleno díky dostupnosti a hlavně pružnosti výsledného spoje. Jelikož tuhé lepidlo by se mohlo roztrhat a rozdrolit díky tepelné roztažnosti měděných těsnění.



obr. č. 33.: Úprava tenkého měděného těsnění



obr. č. 34.: Protážení termodrátků měděným těsněním.

Pro první měření se vstřikovač ani jeho tryska neupravovala, jen se vstřikovací tryska odmastila a smirkovým papírem se zdrsnila plocha pro umožnění vytvoření termočlánekových spojů. Termočlánek byly umístěny v různých vzdálenostech od hrany špičky trysky. Účelem bylo zjistit teplotu vstřikovací trysky v různých vzdálenostech. Tinjtip0 (termočlánek o \varnothing 0.25 mm) byl navařen ve vzdálenosti 4 mm od hrany trysky a Tinjtip1 (termočlánek o \varnothing 0.07 mm) byl navařen 14 mm od hrany trysky, umístění je znázorněné na obrázku č. 34. Poloha termodrátků byla zajištěna pomocí vázacího drátu k tělu vstřikovače.

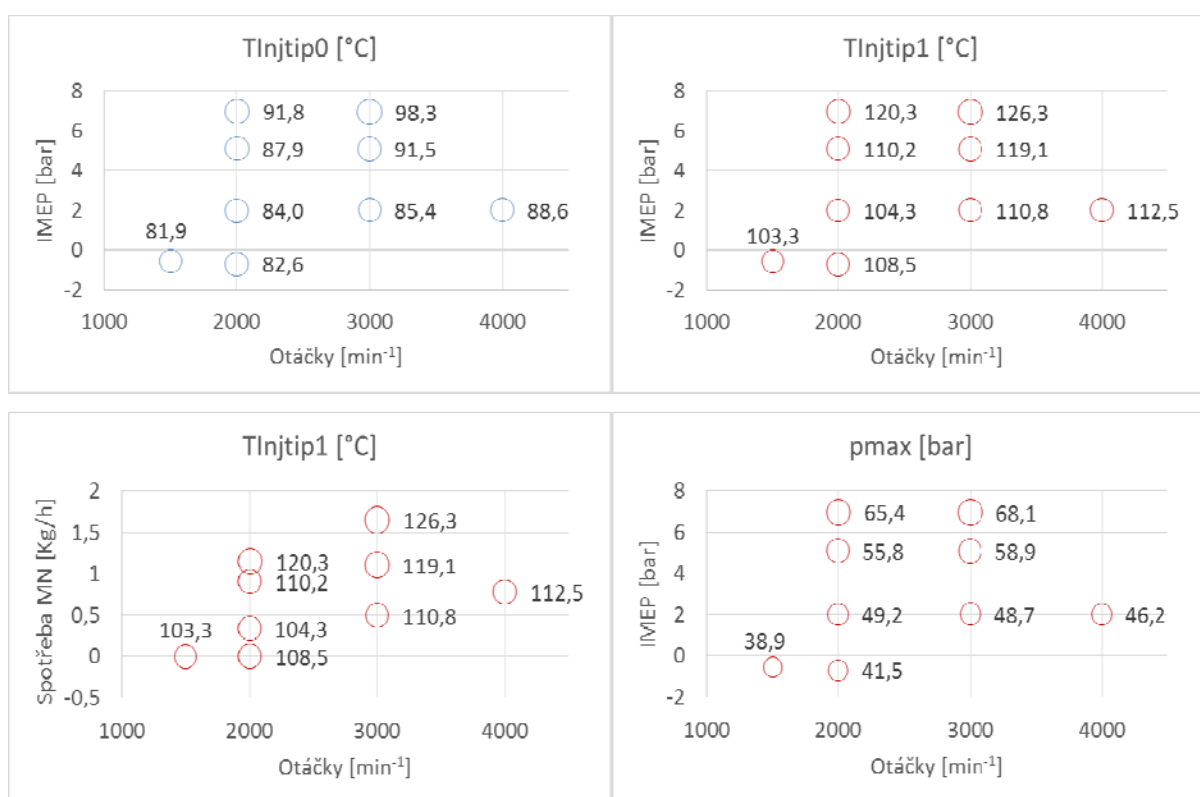
Toto měření neproběhlo podle očekávání, neboť s největší pravděpodobností došlo při ukládání vstřikovače do jeho uložení v hlavně motoru k odtržení termočlánek o \varnothing 0.25 mm od špičky trysky. Termočlánek se zřejmě odpojil od zkoumaného předmětu a měřil chlazenou stěnu hlavy motoru. Druhý termočlánek o \varnothing 0.07 mm nebyl odtržen.

Hodnoty měření pro různé otáčky a zatížení motoru jsou udány v tabulce č. 6 a vyneseny v grafech obr. č. 35.

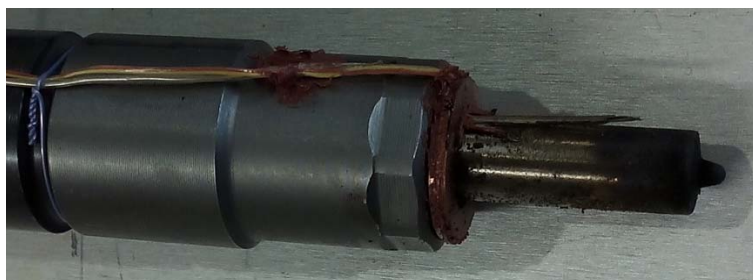


tab. č. 6.: První měření

otáčky [1/min]	EGT [°C]	T _{injtip0} [°C]	T _{injtip1} [°C]	IMEP [bar]	P _{MAX} [bar]	PHM		
						mMN [kg/h]	mCNG [kg/h]	sig CNG [-]
1500	38.46	81.92	103.30	-0.55	38.87	0	0	0
2000	40.06	82.63	108.51	-0.69	41.46	0	0	0
2000	150.00	84.02	104.25	2.01	49.22	0.34	0	0
2000	318.51	87.90	110.23	5.10	55.77	0.91	0	0
2000	409.75	91.79	120.34	6.97	65.40	1.15	0	0
3000	167.55	85.37	110.83	2.03	48.65	0.50	0	0
3000	343.68	91.53	119.07	5.08	58.91	1.11	0	0
3000	491.18	98.30	126.27	6.95	68.14	1.65	0	0
3999	221.40	88.63	112.52	2.03	46.20	0.78	0	0



obr. č. 35.: Grafy znázorňující údaje z prvního měření

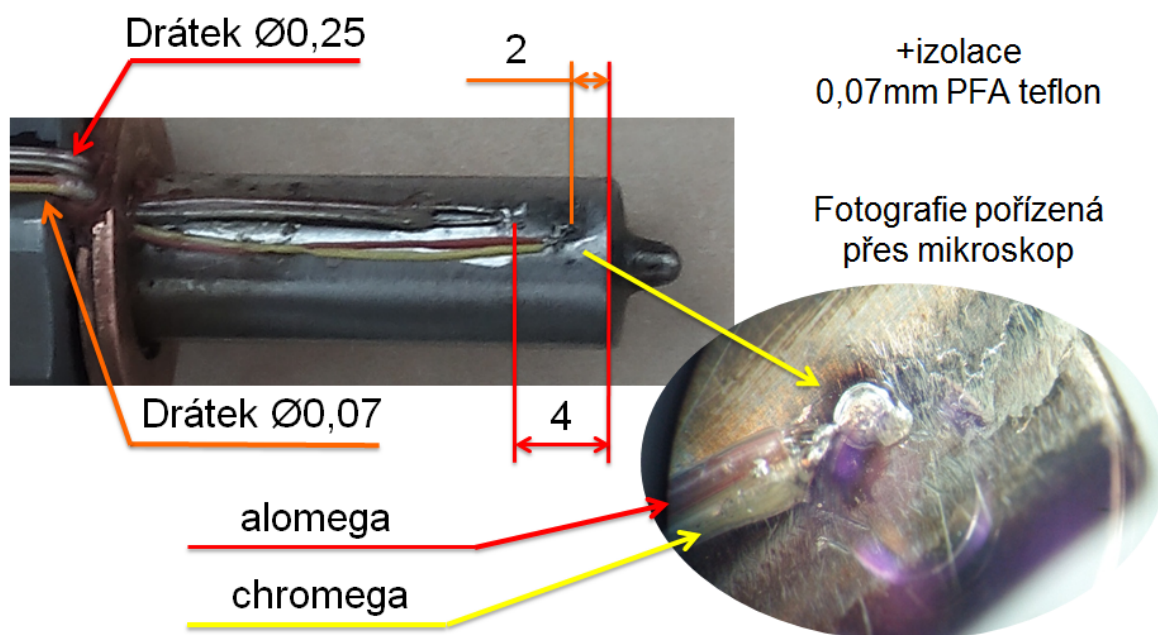


obr. č. 36.: Fotografie odtržených termočláneků



7.6.2 Druhé měření

Pro umožnění dalšího testování bylo zapotřebí opravit snímání teploty trysky. Oprava spočívala v novém navaření termočlánků. Těsnění zůstalo beze změn. Tlnjtip0 (termočlánek o \varnothing 0.25 mm) byl navařen ve vzdálenosti 4 mm od hrany trysky. Tlnjtip1 (termočlánek o \varnothing 0.07 mm) byl navařen ve vzdálenosti 2 mm od hrany trysky.



obr. č. 37.: Detail provedení termočlánků pro druhé měření

Před samotným měřením teploty špičky trysky na běžícím motoru spalujícím naftu bylo zapotřebí důkladné prohřátí agregátu. Jakmile byla hodnota teploty vody i teploty oleje na provozní teplotě, roztočil se motor pomocí dynamometru na provozní otáčky bez dodávky paliva. Tomuto procesu odpovídají první dva řádky z tabulky č. 7, poté následují tři měření pro tři různé hodnoty otáček motoru, ve kterých se zatěžoval motor na tři střední indikované tlaky. Po tomto proměření se nechal motor vychladit protáčením bez přísunu paliva.

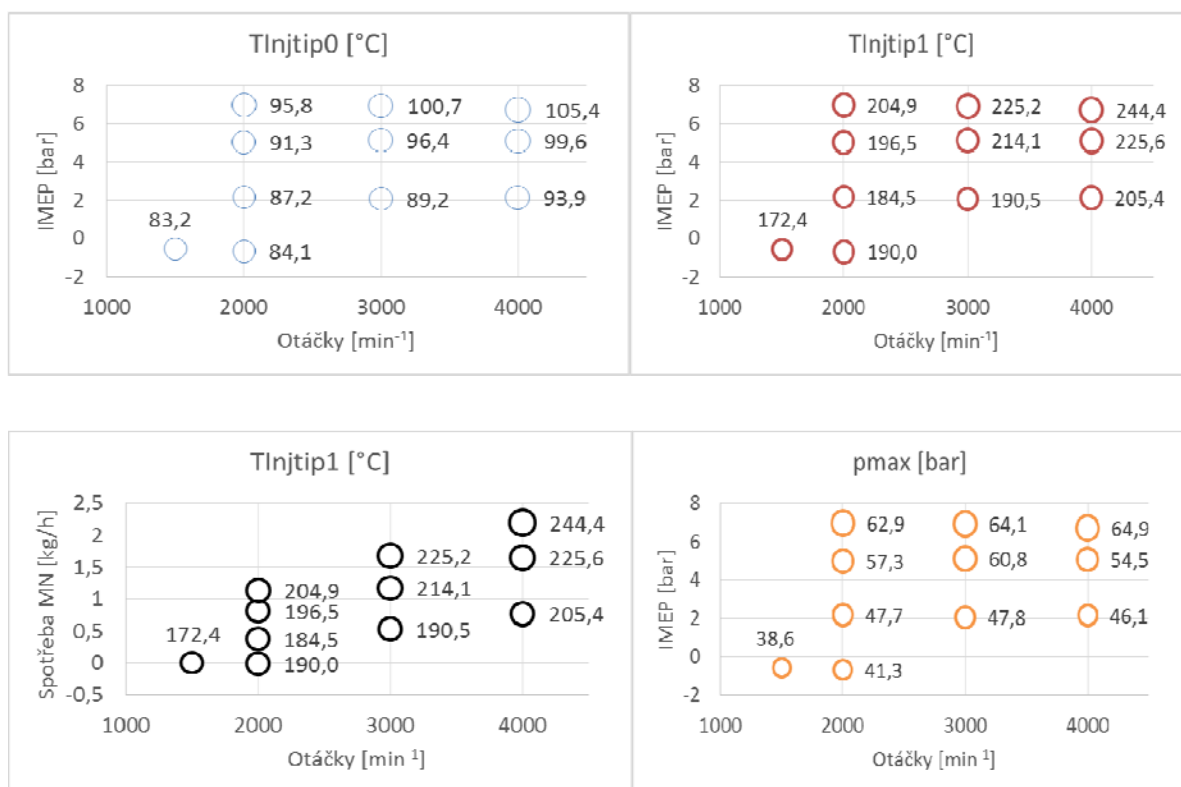
U tohoto měření je zajímavé poukázat na teplotu špičky trysky tj. Tlnjtip1 u protáčeného motoru při otáčkách 2000 min^{-1} , kde je zhruba o $5.5 \text{ }^\circ\text{C}$ vyšší teplota trysky než u motoru spalujícím naftu při stejných otáčkách (viz druhý a třetí řádek tabulky č. 7). Tento jev je způsobený ochlazováním vstřikovací trysky průtokem vstřikovaného paliva. Palivo čekající na vstříknutí do spalovacího prostoru jímá teplotu z trysky a při vypuštění odchází toto ohřáté palivo tryskou pryč a jeho místo zaujímá nová čerstvá studená nafta. Čím vyšší průtok paliva vstřikovačem projde, tím více tepla ze špičky trysky odejde.



Toto měření bylo provedeno s provozem na jedno palivo.

tab. č. 7.: Druhé měření – provoz na naftu

otáčky [1/min]	EGT [°C]	Tlnjtip0 [°C]	Tlnjtip1 [°C]	IMEP [bar]	PMAX [bar]	PHM		
						mMN [kg/h]	mCNG [kg/h]	sig CNG [-]
1500	39.23	83.17	172.41	-0.57	38.58	0	0	0
2000	41.26	84.13	189.96	-0.69	41.31	0	0	0
2000	166.77	87.2	184.53	2.17	47.67	0.38	0	0
2000	320.25	91.26	196.49	5.01	57.28	0.81	0	0
2000	417.95	95.78	204.93	6.99	62.89	1.13	0	0
3000	174.09	89.18	190.52	2.06	47.75	0.53	0	0
3000	360.81	96.35	214.11	5.13	60.82	1.17	0	0
3000	499.43	100.74	225.17	6.93	64.08	1.68	0	0
4000	216.42	93.86	205.36	2.15	46.11	0.77	0	0
4000	408.25	99.55	225.57	5.09	54.53	1.65	0	0
4000	548.56	105.38	244.42	6.72	64.94	2.2	0	0
2000	63.29	85.64	187.33	-0.65	41.35	0.01	0	0
1500	55.36	83.83	170.33	-0.55	38.77	0.01	0	0



obr. č. 38.: Grafy znázorňující údaje z druhého měření – provoz na naftu



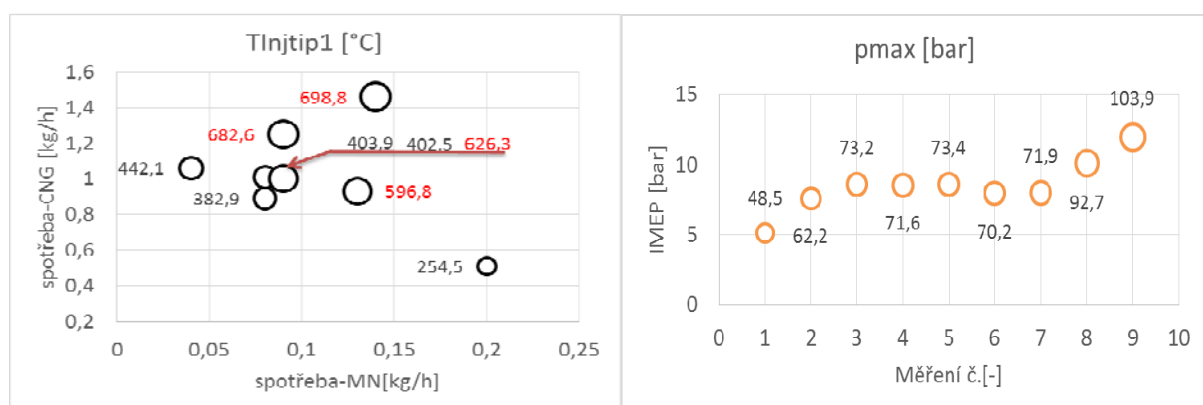
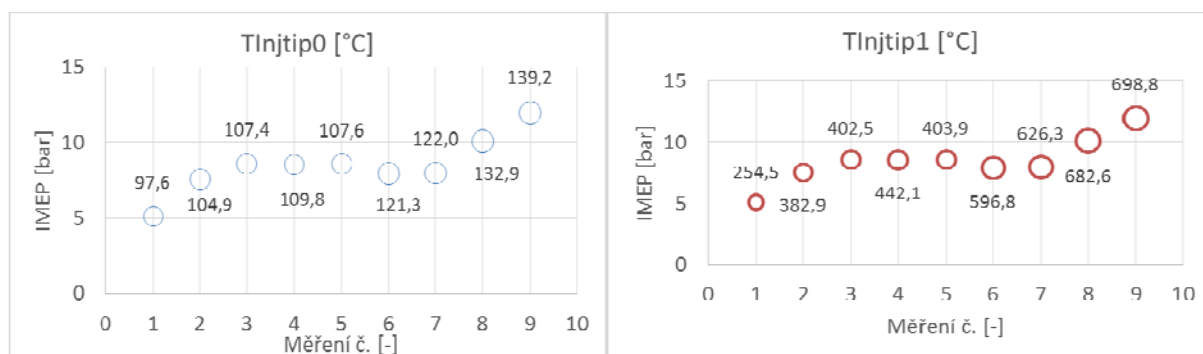
7.6.3 Třetí měření

Tento pokus následoval bez jakéhokoli zásahu do vstřikovače a měřících snímačů či zařízení. Měření bylo prováděno při udržování konstantních otáček na hodnotě 1500 min^{-1} s rozdílným zatížením při dvoupalivovém provozu.

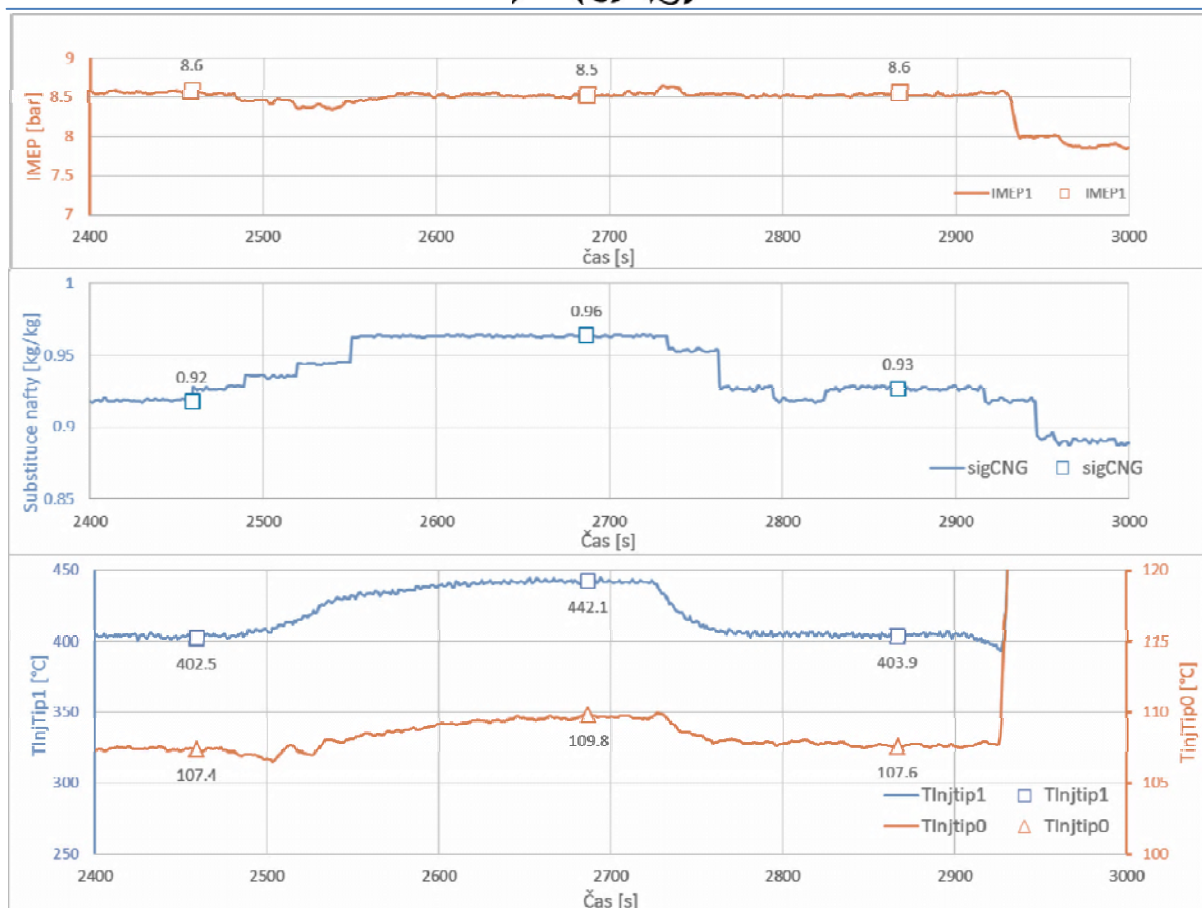
V tomto měření se mimo jiné zjišťovala i citlivost teploty špičky trysky v závislosti na substituci nafty. Hodnoty získané z třetího měření jsou udány v tabulce číslo č. 8.

tab. č. 8.: Třetí měření – dvoupalivový provoz, $\lambda=1$, CA50 10°ATDC

Měření	otáčky [min^{-1}]	EGT [°C]	T _{injtip0} [°C]	T _{injtip1} [°C]	IMEP [bar]	P _{MAX} [bar]	PHM		
							mMN [kg/h]	mCNG [kg/h]	sig CNG [kg/kg]
1	1500	487.29	97.57	254.52	5.11	48.46	0.2	0.51	0.718
2	1500	506.82	104.86	382.85	7.55	62.22	0.08	0.89	0.917
3	1500	520.56	107.4	402.47	8.58	73.18	0.09	1	0.917
4	1500	518.72	109.78	442.06	8.53	71.56	0.04	1.06	0.963
5	1500	522.19	107.57	403.86	8.56	73.42	0.08	1.01	0.926
6	1500	525.94	121.28	596.84	7.92	70.18	0.13	0.93	0.878
7	1500	521.05	121.97	626.28	7.97	71.92	0.09	1	0.917
8	1500	537.73	132.88	682.56	10.1	92.66	0.09	1.25	0.932
9	1500	567.73	139.16	698.78	11.95	103.85	0.14	1.46	0.912



obr. č. 39.: Grafy znázorňující údaje z třetího měření – dvoupalivový provoz



obr. č. 40.: Grafy znázorňující zvýšení teploty trysky vlivem snížení průtoku nafty vstřikovačem.

Na obrázku č. 40 můžeme vidět závislost teploty špičky trysky na substituci nafty. V prvním bodě byla hodnota teploty trysky 402,5 °C při substituci nafty 92 %. V následném kroku se zvýšila substituce o 4 % ubráním dávky nafty, čímž se dle očekávání zvýšila teplota trysky o necelých 40 °C. Následně se vrátila dávka motorové nafty zpět na hodnotu z prvního kroku a ta zajistila snížení teploty trysky na hodnotu shodnou s hodnotou udanou před ochuzením dávky nafty. Toto měření se bohužel nemohlo zopakovat, jelikož se porušily termodrátky.



obr. č. 41.: Vstřikovač systému common rail s porušenými termodrátky.



Díky zjevnému porušení měřícího elementu trysky vstřikovače bylo zapotřebí celý vstřikovač demontovat z hlavy motoru.

Po vymontování vstřikovače podle postupu uvedeného v příloze P1 bylo možné důkladné prozkoumání termočláňkového spoje i celého termodrátkového vedení.

Termočláňkový spoj tenkých termodrátků byl bez defektu, vedení bylo porušené v místě průchodu těsněním.

Ze zmapování stavu termodrátků a ze záznamu dat

pořízených při měření lze usuzovat, že v průběhu šestého měření vystřelila silikonová výplň, jež těsnila průchod termodrátků v těsnění. K odtržení výplně došlo v důsledku vysokého tlaku a následně unikaly horké plyny otvorem v těsnění a díky tomuto úniku se změnilo proudění ve štěrbině mezi tryskou a stěnou hlavy válců. Následkem toho se zvýšila teplota trysky i termodrátků až na takovou míru, že uhořela jejich izolace do vzdálenosti 21 mm od termočláňkového spoje a potažmo se po pár dalších cyklech měření přerušilo měření úplně vlivem porušení drátků.



obr. č. 42.: Detail porušení termodrátků



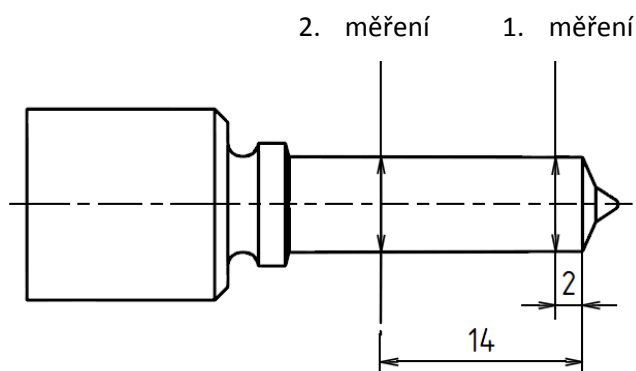
7.6.4 Shrnutí

Níže je uvedena tabulka č. 9, jež shrnuje získaná data z prvního a druhého měření. Tabulka vznikla sloučením dvou měření z čistě naftového provozu.

Budeme – li předkládat, že termočlánek z prvního měření umístěný 14 mm od hrany špičky trysky měřil skutečně její teplotu, tak lze zjistit rozložení teplotního namáhání vstřikovací trysky, neboť známe průběh teplot na trysce ve dvou různých vzdálenostech.

tab. č. 9.: porovnání měření – naftový provoz

otáčky [1/min]	1. měření T _{Injtip1} [°C]	2. měření T _{Injtip1} [°C]	1. měření IMEP [bar]	2. měření IMEP [bar]	1. měření mMN [kg/h]	2. měření mMN [kg/h]
1500	103.30	172.41	-0.55	-0.57	0	0
2000	108.51	189.96	-0.69	-0.69	0	0
2000	104.25	184.53	2.01	2.17	0.34	0.38
2000	110.23	196.49	5.10	5.01	0.91	0.81
2000	120.34	204.93	6.97	6.99	1.15	1.13
3000	110.83	190.52	2.03	2.06	0.50	0.53
3000	119.07	214.11	5.08	5.13	1.11	1.17
3000	126.27	225.17	6.95	6.93	1.65	1.68
3999	112.52	205.36	2.03	2.15	0.78	0.77



obr. č. 43.: teplotní rozložení trysky vstřikovače

Jelikož nebylo provedeno testování na dvoupalivový provoz s termočlánekem 14 mm vzdáleným od hrany špičky trysky, tak nelze určit rozložení teplotního namáhání vstřikovací trysky v závislosti na substituci nafty.

Nebylo možné ani vyzkoušet porovnávací údaje, neboť došlo k destrukci těsnění vstřikovače a následkem toho se termodrátka porušily již při testování citlivosti teploty špičky vstřikovače na substituci nafty.

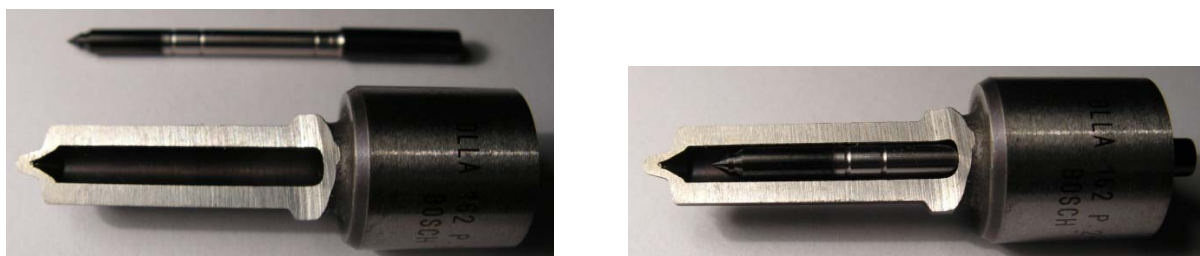


7.7 Konstrukční návrh

Tato kapitola se věnuje popisu uložení termočlásku v trysce, které zajistí lepší snímání teploty trysky bez okolních jevů. Dále je zde věnována kapitola návrhu opatření pro snížení tepelné zátěže trysky vstřikovače.

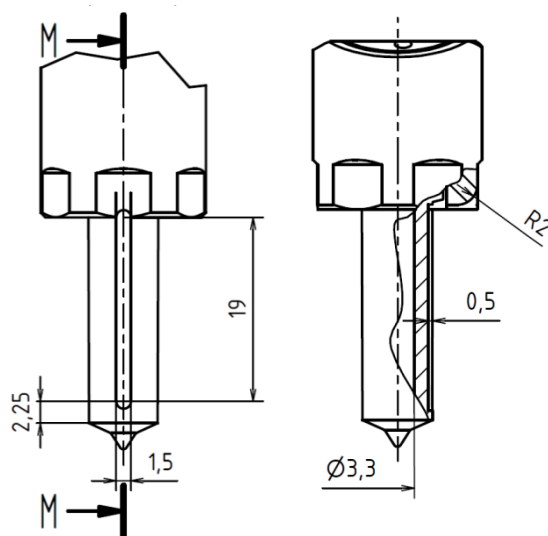
7.7.1 Návrh uložení termočlásku v trysce

Díky špatné životnosti měřícího členu je zapotřebí předělat vedení termočlásku ze spalovacího prostoru. Pro možnost většího zásahu do vstřikovače bylo zapotřebí zajistit vstřikovač stejného typu, rozebrat ho a rozříznout vstřikovací trysku.



obr. č. 44.: Řez vstřikovací tryskou BOSCH DLLA 162 P 2160

Na základě odměřených hodnot rozebraného vstřikovače byl vytvořen podrobnější model vstřikovací trysky a přidržovací matice v programu 3D cad autodesk inventor. Díky odtajnění geometrie vstřikovací trysky a zjištění tloušťky čelní plochy matice vstřikovače jsem navrhl lepší cestu pro vedení termodrátků.

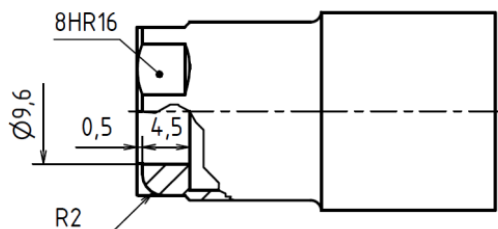


obr. č. 45.: Vyfrézovaná drážka v trysce
BOSCH DLLA 162 P 2160

Na obrázku č. 45 je vyobrazena drážka vedoucí tryskou a maticí vstřikovače, jež slouží k uložení a vyvedení termodrátků ze spalovacího prostoru. Tato drážka se bude muset velice opatrně vyfrézovat za současného intenzivního chlazení, aby se vnitřní plocha trysky a její jehla nijak teplotně neovlivnily. Po navaření termočlásku ke konci drážky a vytvarování drátků je zapotřebí tento zásah zatmelit vysokoteplotním keramicko-kovovým tmelem H1000. Po vytvrzení se zabrousí



tmel do úrovně původní plochy. Podrobnější výkres trysky a matice je přiložen v příloze – výkresová dokumentace.



obr. č. 46.: Vyfrézovaná drážka v matici vstřikovače

7.7.2 Návrh opatření pro snížení tepelné zátěže trysky vstřikovače

Prvním nápadem pro snížení teplotního namáhání vstřikovací trysky bylo vytvoření mezikusu mezi trysku a chlazenou stěnu hlavy válců, který bude sloužit pro lepší odvod tepla z trysky a zároveň zakryje část plochy trysky přijímající teplo ze spalování. Tento mezikus je vlastně malé přírubové pouzdro a musí být vyrobeno z materiálu, který má dobrou tepelnou vodivost, čili schopnost látky co nejrychleji šířit teplo, měl by být snadno obrobitelný a houževnatý.

tab. č. 10.: Součinitele tepelné vodivosti vybraných materiálů [26]

Teplota [°C]	Součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]			
	Stříbro	Měď	Hliník	Železo
20	427	398	237	80
100	420	392	240	69
200	413	388	237	61
300	405	383	232	54

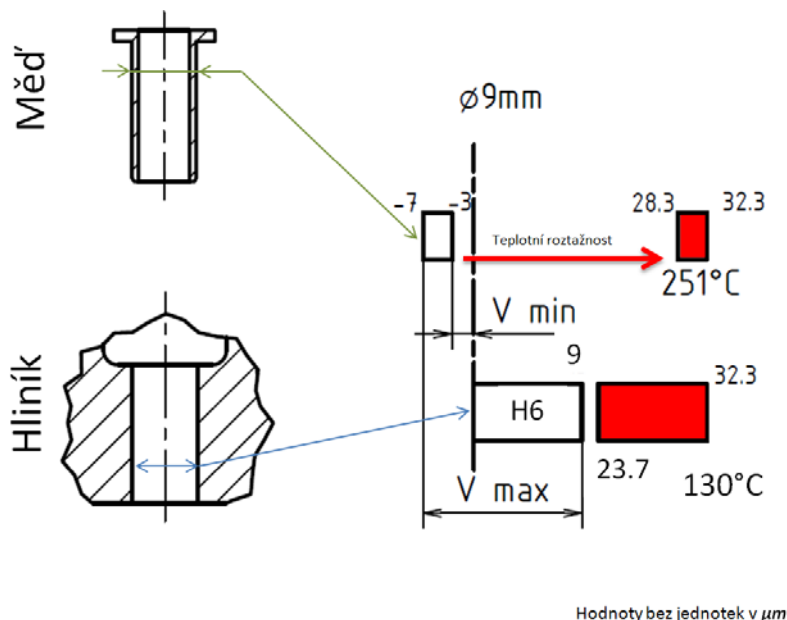
Po prohledání patentů, technických listů SAE a internetových stránek se při hledání materiálu na rešerši našel tento návrh již zhotovený a otestovaný firmou AVL na motoru určeném pro nákladní vozy. Tento dokument je popsán výše pod rešeršní částí pod číslem: 2012-01-0826.

Bylo zvoleno tedy toto přírubové pouzdro díky jeho uspokojivému výsledku na velkoobjemovém motoru. Při zavádění tohoto pouzdra není nutné zasahovat do vstřikovače a zásah do hlavy motoru je pouze minimální. Jeho výroba je relativně snadná. Všechny tyto klady jsou ještě umocněny tím, že tato varianta je bezpochyby nejlacinější na výrobu oproti ostatním variantám uvedeným v rešeršní části. Materiál



na výrobu pouzdra byl vybrán stejný. Použila se měď jako na originálním těsnění. Stříbro má sice lepší tepelnou vodivost (viz tabulka č. 10), ale vzhledem k ceně se o tomto řešení nedá uvažovat.

Přírubové pouzdro musí být vyrobeno tak, aby mělo neustálý kontakt s tryskou vstřikovače, neboť jedině tak dokáže pomoci trysce s odvodem tepla. Přírubové pouzdro se tedy bude lisovat za tepla na vstřikovací trysku, ale uložení pouzdra v hlavě motoru musí být s vůlí, kvůli možnosti snadné demontáže bez nutnosti demontáže



obr. č. 47.: Tolerance uložení pouzdra v hlavě válců

hlavy z motoru. Je také zapotřebí zvětšit průměr díry v hlavě motoru a to s ohledem na dostatečnou plochu těsnění a na vyrobitelnost přírubového pouzdra.

Díky rozdílným teplotním roztažnostem by při nedostatečném přesahu uložení pouzdra na trysce mohlo měděné pouzdro ztratit kontakt s tryskou dřív, než by se pouzdro dotklo stěny hlavy válců, proto bylo nutné vypočítat toleranci uložení pouzdra na trysce tak, aby se pustilo nejdříve při 250 °C. Tato hodnota byla vybrána jako nejvyšší hodnota pro dotyk pouzdra v hlavě motoru, kde se uvažovalo, že v provozu bude mít hlava motoru v místě styku s přírubou 130 °C.

V tomto případě, kdy se potřebuje zajistit dobrý styk pouzdra s hlavou motoru při zvolené teplotě součástí, je nemožné použít normalizované tolerance uložení. I v případě vyobrazeném na obrázku č. 47 je uveden nepříliš vhodný způsob. Bílá políčka jsou tolerance součástí za studena. Ta červená znázorňují tolerance po ohřátí a následném dotyku součástí. Je vyobrazen model „velké pouzdro a velká díra“. Znamená to, že při ohřátí hliníkové díry na 130 °C a měděného pouzdra na 251 °C se součásti o sebe opřou. U modelu „malé pouzdro a malá díra“ při teplotě stěny hlavy válce 130 °C se dotyk projeví již při teplotě pouzdra 220 °C. V nejhorším případě pro malou přírubu a velkou díru v hlavě motoru by dotyk přišel při teplotě díry



130 °C a 277 °C měděného pouzdra. Tato tolerance by se ještě dala akceptovat, ale výstružník s tolerancí H6 se běžně nedodává. A pokud se teplota hlavy válců zvýší nad uvažovanou teplotu, tak by pouzdro nedosáhlo k dotyku ve správný okamžik. Z tohoto modelu je patrné, že se musí pouzdro vyrábět až po vystružení díry hlavy válců a následném změření přesného rozměru.

Další možností by bylo vytvoření dilatační drážky na pouzdře. Pouzdro by bylo vyrobeno tak, aby se například již při 100 °C opřelo o chlazenou stěnu hlavy válců a při zvyšování teploty by se díky teplotní roztažnosti roztahoval materiál do dilatační spáry. Tento princip byl zavrhnut. Byl by dobrý, co se týče dotyku pouzdra, ale při provozu by se dilatační drážky zanesly sazemí a po ne příliš dlouhé době by pouzdro nemělo kam dilatovat. Tím by se rozpínaly materiály mezi sebou a vznikl by vyšší tlak, než je maximální dovolený pro otláčení.

tab. č. 11.: Rozměry trysky a pouzdra při určité teplotě

Tryska OCEL	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C
d = 6.99	6.997	7	7.005	7.009	7.0135
Δ	0.067	0.0109	0.015	0.019	0.0235
Pouzdro MĚĎ	↓	↓	↓	↓	↓
D (20°C)	6.987	6.984	6.983	6.981	6.98

tab. č. 12.: Rozměry součástí v dotyku při určité teplotě

do [mm]	d [mm]	Δ [μm]	prvek	materiál	α [°C ⁻¹]	teplota [°C]
6.99	7.0093	19.3	tryska	ocel	1.2*10 ⁻⁵	250
6.9819	7.0093	27.4	přírubové pouzdro	měď	1.7*10 ⁻⁵	250
6.99	7.014	24	tryska	ocel	1.2*10 ⁻⁵	307
6.98	7.014	34	přírubové pouzdro	měď	1.7*10 ⁻⁵	307
8.489	8.5224	33.4	přírubové pouzdro	měď	1.7*10 ⁻⁵	251
8.485	8.5224	37.4	přírubové pouzdro	měď	1.7*10 ⁻⁵	279
8.5	8.5224	22.4	hlava motoru	hliník	2.4*10 ⁻⁵	130

Tabulka č. 11 udává rozměr vstřikovací trysky zahřáté na určitou teplotu. Měděné pouzdro je potřeba vyrobit tak, aby i při 300 °C bylo ve styku s ocelovou



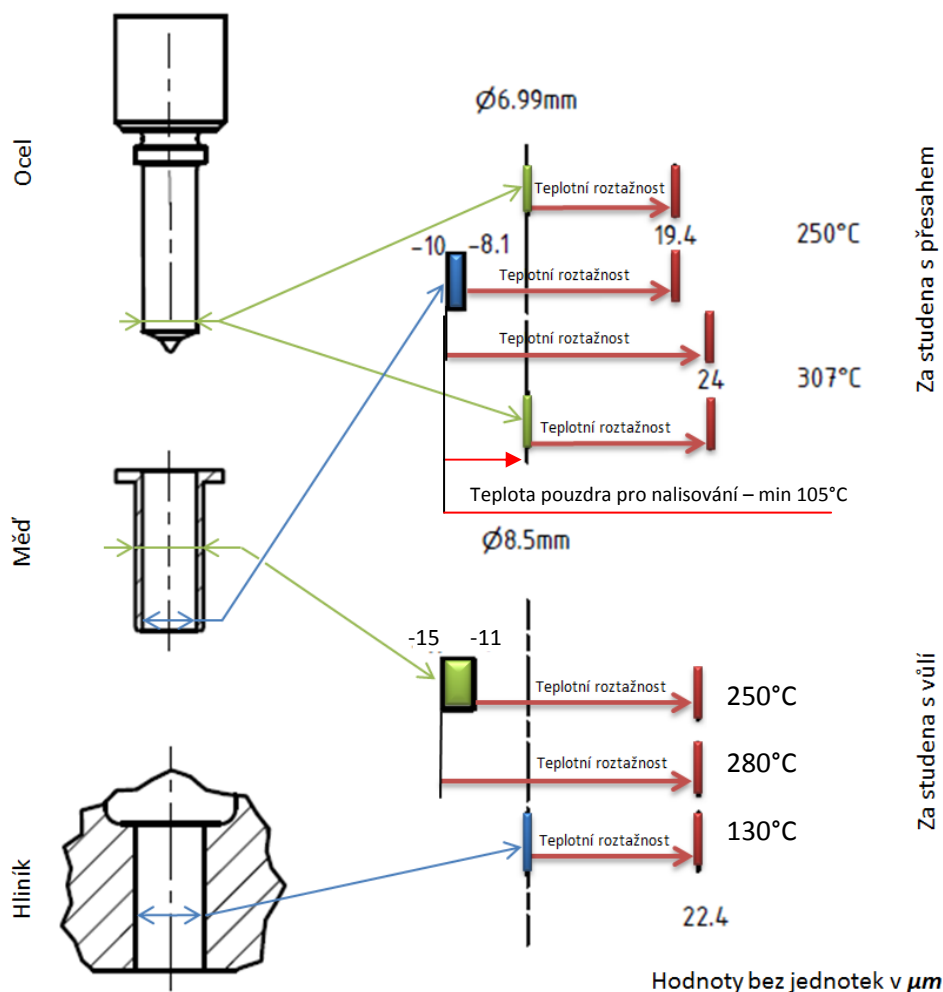
tryskou. Vzhledem k různé roztažnosti oceli a mědi je zapotřebí zjistit výrobní rozměry měděného pouzdra při pokojové teplotě. Je nutné tedy vypočítat, na jakou hodnotu se roztáhne ocelová tryska zahřátá na teplotu 300 °C. Při pokojové teplotě má průměr 6.99 mm a po ohřátí na 300 °C se tento rozměr zvětší na hodnotu 7.0135 mm. Tento rozměr vezmeme jako maximální rozměr pouzdra při teplotě 300 °C. Znamená to tedy, že pokud budeme ohřívat trysku s pouzdrem nad tuto hodnotu, tryska z pouzdra díky různé teplotní roztažnosti materiálů vypadne. Ochladíme-li toto pouzdro bez trysky na pokojovou teplotu, získáme rozměr udaný v tabulce pod šipkou. V tomto případě je vnitřní průměr pouzdra 6.98 mm při 20 °C. Z tohoto výpočtu plyne, že uložení trysky v pouzdře spadá pod uložení s přesahem. Bude se tedy pouzdro nalisovávat na vstříkovací trysku za tepla a to minimálně 105 °C.

V tabulce č. 12 jsou udány rozměry a teploty součástí v dotyku. K výpočtu byla použita lineární teplotní roztažnost daných materiálů dle vztahu:

$$d = d_0 \cdot (1 + \alpha \Delta T) \quad (2)$$

kde, d [mm] je průměr součásti po zahřátí na teplotu t [°C], d_0 [mm] je počáteční průměr při teplotě t_0 [°C], α [°C⁻¹] je součinitel teplotní roztažnosti a ΔT je rozdíl teploty počáteční a koncové.

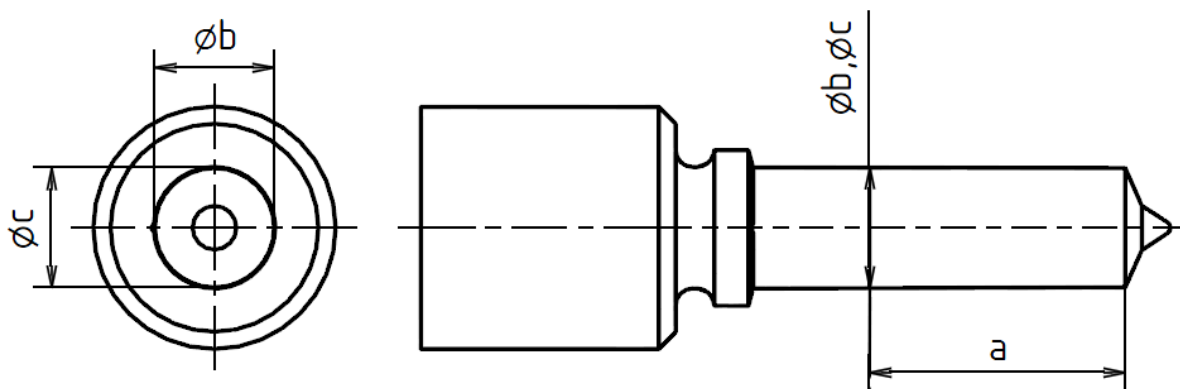
Obrázek č. 47 znázorňuje tolerance uložení pouzdra na vstříkovací trysce a v hlavě motoru. Tolerance je přizpůsobena a vypočtena z lineární teplotní roztažnosti daných prvků viz tabulka č. 11. Pevnou hodnotou, od které byla počítána tolerance uložení, je průměr trysky vstřikovače, protože při ubírání materiálu by se mohly vlivem vysoké teploty poškodit kontaktní plochy mezi vstříkovací jehlou a tryskou a díky tomu by se změnil průtok paliva vstřikovačem nebo v nejhorším případě by se jehla vzpříčila a neotvírala by se vůbec. Tuto toleranci je nutné dodržet, ale nulová čára bude zjištěna po zhotovení díry v hlavě motoru.



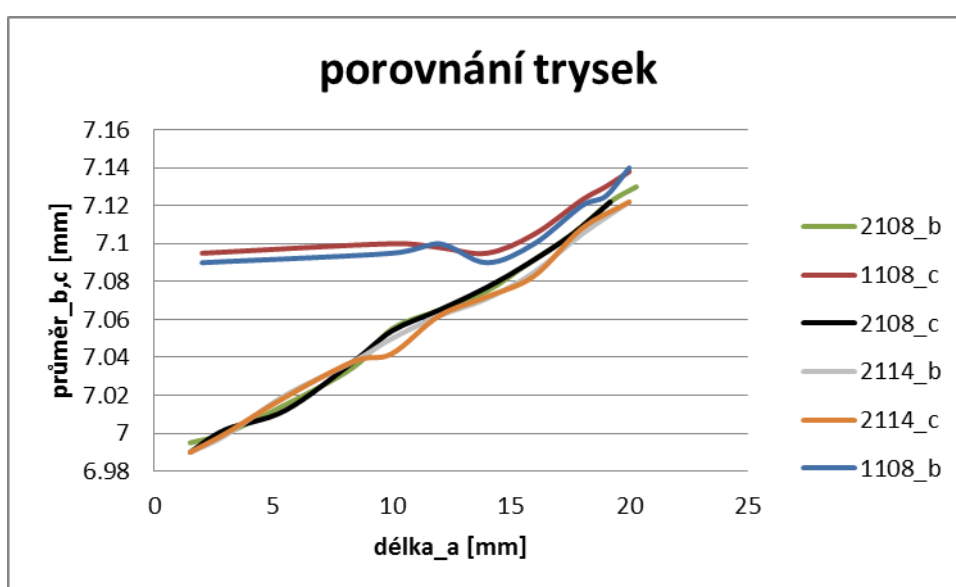
obr. č. 48.: Tolerance uložení pouzdra

Po demontování hlavy válců z motoru se kvůli zachování sousosti vystruží díra v motorové hlavě postupným roztahováním plynule nastavitelného výstružníku až na hodnotu průměru 8.5 mm. Tím se dosáhne hladkého povrchu, přesného geometrického tvaru a stejné tolerance sousosti dané z výroby. Tolerance sousosti díry v hlavě motoru je udána na obrázku č. 26. Následně se změří přesný rozměr díry a na jeho základě se stanoví tolerance vnějšího průměru pouzdra dle obrázku č. 48.

Vnitřní průměr přírubového pouzdra se obrobí podle zvoleného vstřikovače. Trysky vstřikovačů jsou ve tvaru komolého kuželu a mají odlišný rozměr, který může být způsoben tolerancemi při výrobě a případně i vlivem teploty u provozem poznamenaného vstřikovače. Obrázek č. 50 znázorňuje průměry vstřikovacích trysek změřených ve dvou na sebe kolmých rovinách. Pod číslem 1108 je tryska vstřikovače pořízená z druhovýroby, trysky s číslem 2108 a 2114 jsou OEM originální VW díly.

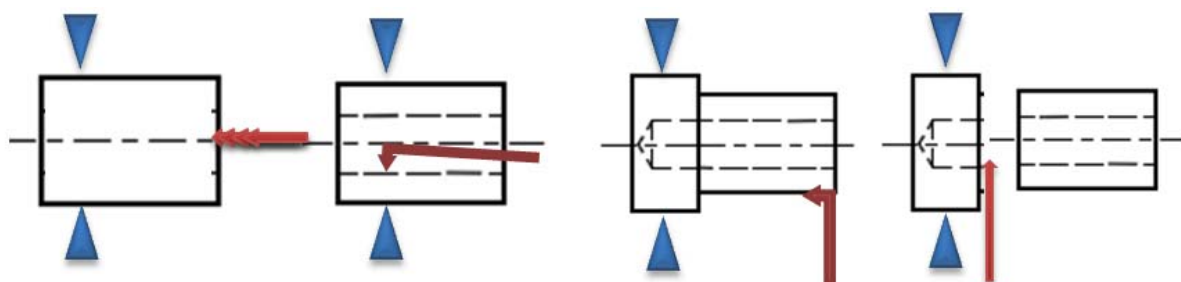


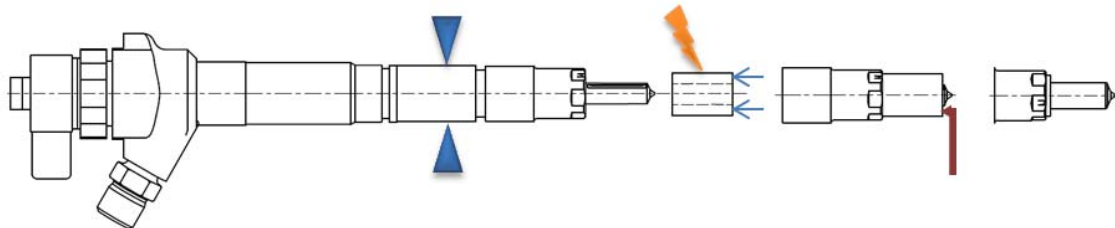
obr. č. 49.: Kóty vstřikovací trysky k provedenému měření



obr. č. 50.: Průměry změřených trysek v závislosti na její délce

Přírubové pouzdro se bude vyrábět podle následného postupu. Polotovarem bude tyč měděná kruhová, EN 13601, o průměru 20 mm. Polotovár se upne do upínky soustruhu a vyvrtá do tyče díra o průměru 6 mm, následně pomocí mikro tvrdokovového vnitřního nože se obrobí vnitřní kuželová díra dle výkresu. Obrobí se i vnější průměr pouzdra na rozměr 14.5 mm a váleček se upíchně.





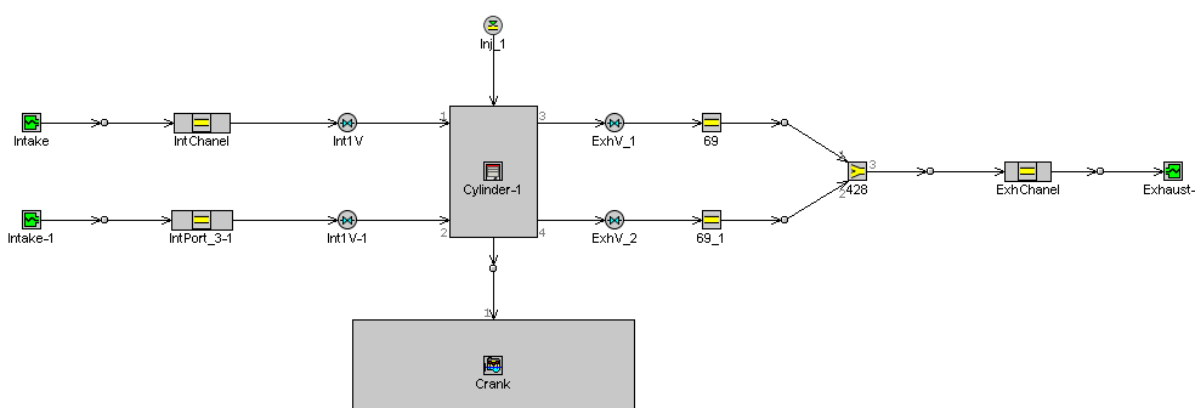
obr. č. 51.: Postup výroby přírubového pouzdra

Upne se celý vstřikovač do upínky soustruhu s velkým vnitřním průměrem vřetena (min. vnitřní průměr 95 mm), pečlivě se vystředí tak, aby se dosáhlo požadované sousosti příruby. Zahřeje se měděný váleček na teplotu alespoň 105 °C a nalisuje se na trysku vstřikovače. Po ochlazení součástí se obrobí vnější plocha válečku s dostatečným chlazením.

7.8 Model jednoválcového motoru v programu GT-SUITE

Jelikož není na motoru snímána teplota hlavy válce na straně ke spalovacímu prostoru, bylo nutné se této teploty dopočítat pomocí programu GT-SUITE. Na této teplotě závisí tolerance uložení pouzdra v díře hlavy motoru. Přestože se spočítá teplota stěny hlavy motoru v blízkosti trysky, tak je jisté, že po montáži a provozu s namontovaným pouzdem se tato teplota zvýší.

Tato kapitola obsahuje výčet zadávaných parametrů, úvahy týkající se chlazené strany stěny hlavy válce a simulaci modelu s hodnotami uvedenými v tabulce.



obr. č. 52.: Model experimentálního jednoválce v GT-SUITE 7.4.0



7.8.1 Okrajové podmínky

Model jednoválcového motoru je sestaven tak, aby co nejvíce odpovídal skutečnosti. Podmínky pro chod modelu jsou zadány z měření na skutečném experimentálním motoru.

Parametry motoru jsou vzaty z manuálu, případně odměřeny z 3D modelů získaných od výrobce daného typu motoru. Ostatní hodnoty byly doplněny z měření při testování. Hodnotám uvedeným v manuálu odpovídá například průběh zdvihu vaček.

V modelu válce byla v sekci teplota stěny upravena tato data:

Počáteční teplota hlavy, pístu i válce byla ponechána na hodnotě 200 °C. Teplota chladicí kapaliny v hlavě motoru i v okolí válců byla zadána z měření - a to 80 °C. Teplotu oleje v pístu a okolo válců také z měření - a to 85 °C. Součinitele přestupu tepla byly ponechány na defaultních hodnotách až na přestup tepla mezi hlavou, válcem a chladicí kapalinou. Tento součinitel byl zvolen tak, aby teplota hlavy byla co nejbližší realitě.

V manuálu lze vyhledat, na jaké hodnotě se udržuje tlak chladicí kapaliny. Podle této hodnoty (konkrétně je to tlak 1.5 bar) lze určit bod varu vody v hlavě motoru. Bude-li se brát v úvahu atmosférický tlak 1 bar, znamená to, že tlak v motoru bude $(1+1.5)$ bar = 2.5 bar. Bude se tedy hledat hodnota bodu varu chladicí kapaliny pro tlak 2.5baru = 250kPa.



obr. č. 53.: Závislost teploty varu vody [13]

Bod varu směsi 1/2Glykol - 1/2voda je 110 °C ± 2 °C při atmosférickém tlaku.[14] Vezme-li se získaná hodnota nárůstu teploty bodu varu mezi vodou a směsí vody s glykolem a tato hodnota se přičte u požadovaného tlaku, vyjde pak hodnota bodu varu $(124+10)$ °C = 134 °C.

Z úvahy vyplývá, že hodnota teploty hlavy na straně chladicí kapaliny by mohla dosáhnout maxima kolem 134 °C.

Teplota na straně obtékané stěny hlavy válce byla upravena tak, jak vyšla z výpočtu energie ohřátí chladicí kapaliny přes průchod motorem.



Výpočet byl proveden dle těchto vzorců:

$$\dot{Q} = k \cdot s \cdot \Delta t_{log} , \quad (3)$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T , \quad (4)$$

$$\Delta t_{log} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln\left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}\right)} \quad (5)$$

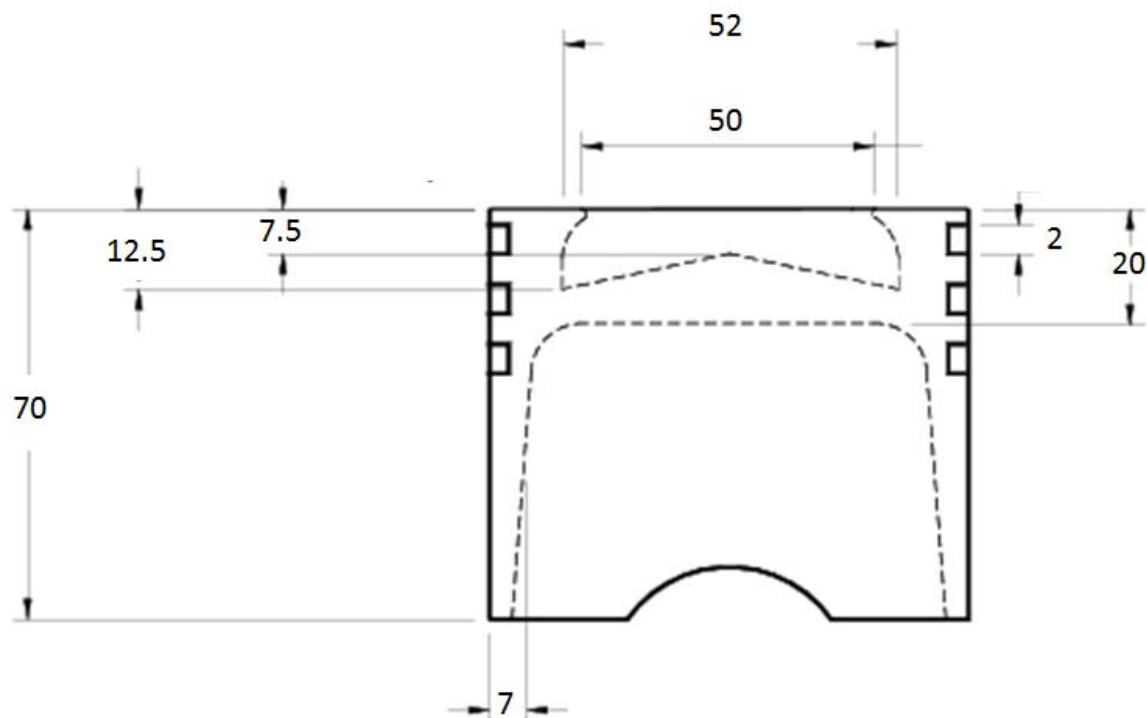
kde \dot{Q} [W] je teplo, k [W/m²K] je součinitel prostupu tepla, s [m²] je velikost teplosměnné plochy, Δt_{log} [K] je logaritmický spád, \dot{m} [kg/s] je průtok chladicí kapaliny, c [J/kgK] je měrná tepelná kapacita chladicí látky, ΔT [K] je rozdíl mezi výstupní a vstupní teplotou chladicí kapaliny.

Výpočet není přesný, ale pro přiblížení postačuje. Je k nahlédnutí na příloženém CD pod názvem výpočty.xlsx. Vycházelo se z teploty chladicí kapaliny na vstupu do bloku motoru, která má 80 °C. Na výstupu z motorové hlavy odtéká kapalina o teplotě zhruba o 2.5 °C vyšší. Tato teplota závisí na otáčkách motoru, zatížení a substituci nafty. Bohužel na motoru není instalovaný snímač rychlosti proudění chladicí kapaliny, proto byla zvolena hodnota blízká doporučené hodnotě udané výrobcem. Protože chlazené plochy v motoru jsou velmi složité, volila se pro součinitel prostupu tepla hodnota mezi součinitelem pro obtékání trubky a obtékání desky. S ohledem na teplotu získanou omylem z měření zřejmě chlazené stěny válců v místě vyústění trysky vstřikovače se dospělo k odladění modelu dle experimentálního měření. Součinitel přestupu tepla pro styk s chladicí kapalinou vyšel 4500W/m²-K. Defaultní hodnota je 5000W/m²-K. Přestupu tepla do stěn se počítá pomocí Woschni GT.

Hlava válců je rovná bez vypuklého spalovacího prostoru a je vyrobena z hliníku o tloušťce stěny mezi spalovacím prostorem a vodním kanálem 12 mm. Do programu byla zadána hodnota 9 jako poměr chladicí obtékané plochy a ohřivané plochy nad pístem. Poměr plochy hlavy válce a průřezové plochy vrtání je roven 1, protože hlava válců je ze strany spalovacího prostoru rovná. Hodnota 1.42 byla zadána jako poměr plochy povrchu pístu (ze spalovacího prostoru) ku průřezové ploše vrtání. Uvedené plochy byly vytaženy z 3D modelů.



Píst je také z hliníku o rozměrech udaných na obrázku



obr. č. 54.: Hodnoty modelu pístu jednoválce - GT-SUITE 7.4.0

Válec je z 5 mm tlusté železné trubky o délce 140 mm a je chlazen kapalinou ve vzdálenosti 15 mm od horní hrany až po 115 mm.

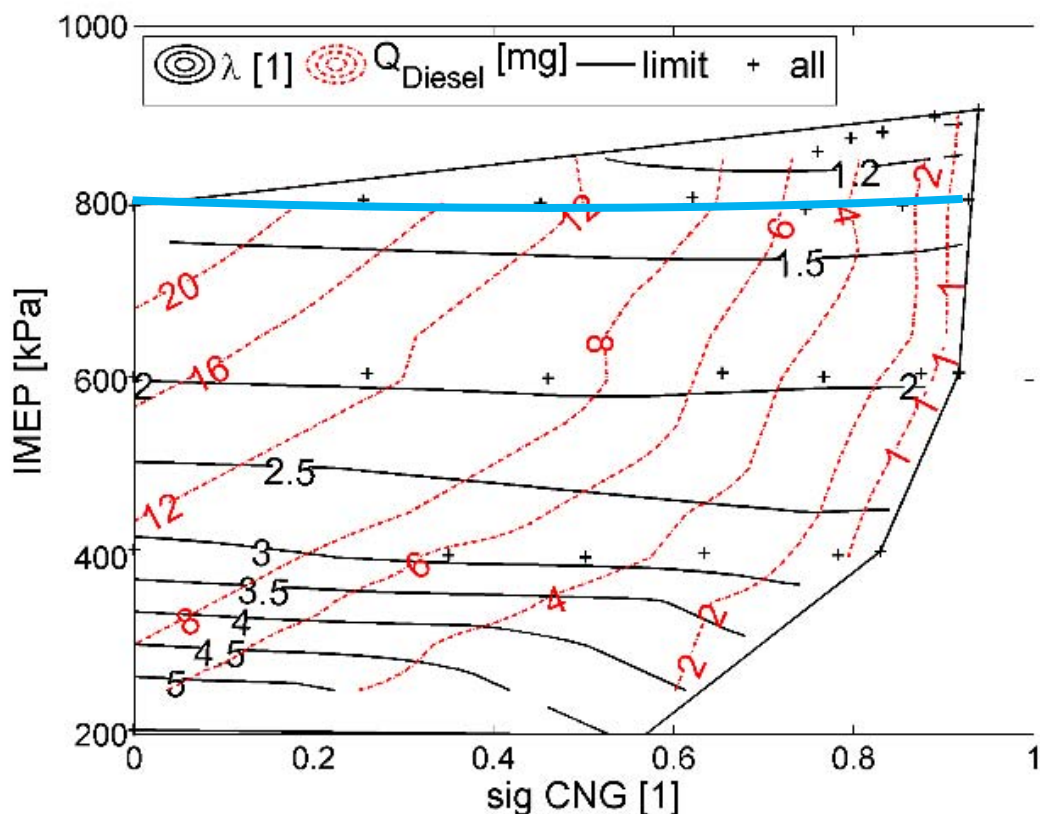
V hlavě jsou uloženy 4 ventily, 2 sací a 2 výfukové. Sací ventily jsou o průměru 30.6 mm a výfukové o průměru 29.9 mm. Sedla sacích ventilů mají tloušťku 2.85 mm a výfukové 2.75 mm.

V modelu klikové hřídele byla pozměněna tato data: v sekci geometrie válce byly upraveny hodnoty pístu dle manuálu: vrtání na hodnotu 85 mm, zdvih 90 mm, délka ojnice 138 mm a kompresní poměr 16:1. Ostatní údaje zůstaly beze změn.

7.8.2 Simulace doprovázená změřenými hodnotami

V programu GT-SUITE byl simulován provoz motoru dle bodů získaných z měření před montáží teplotního snímače snímajícího teplotu trysky vstřikovače. Tyto body jsou zobrazeny v obrázku č. 55 modrou čarou.

Simulace byla prováděna, pro zjištění závislosti teploty desky hlavy na substituci nafty.



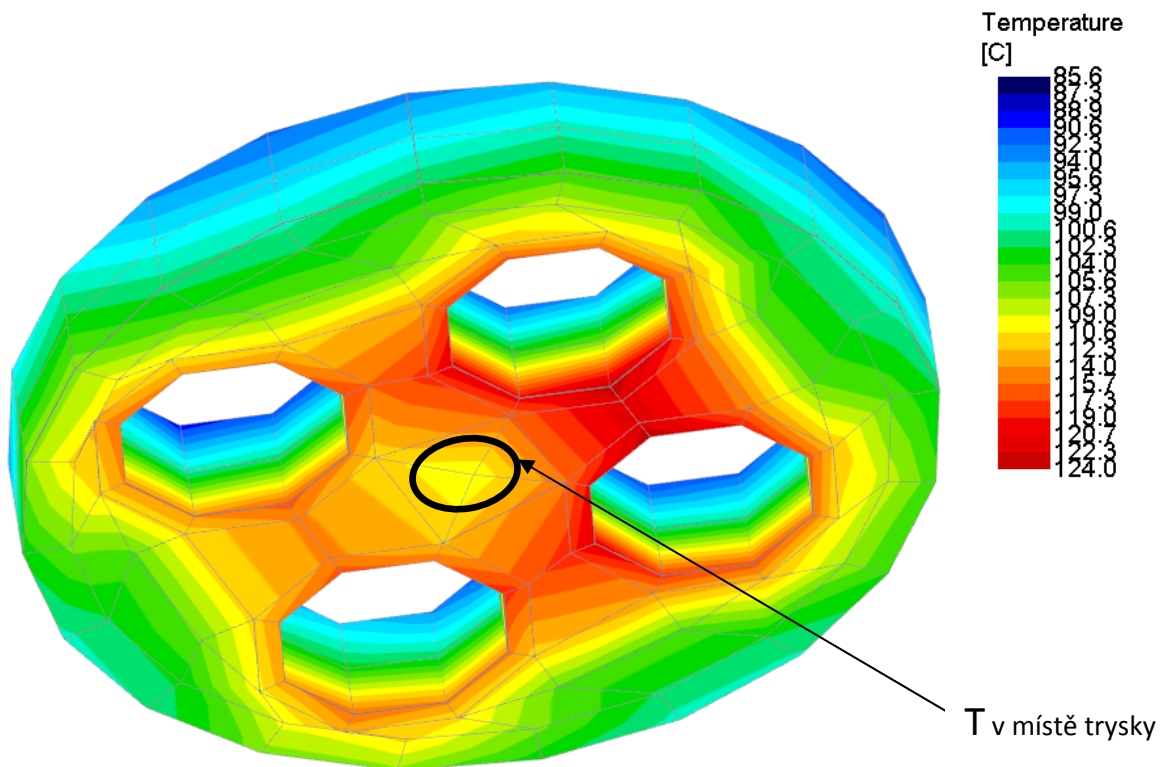
obr. č. 55.: Mapa z měření experimentálního motoru, CA50 10°ATDC - data pro GT-SUITE 7.4.0 [19]

Vstřikovač zemního plynu není součástí kontrolního objemu. Do sání vstupuje místo čistého vzduchu směs vzduchu se zemním plynem. Poměr jednotlivých složek vstupujících do sání je přepočítán ze získaných hodnot z experimentálního měření. Výsledky modelu teploty stěny hlavy motoru jsou udány v tabulce č. 13 a č. 14. V tabulce 13 jsou udány dva body z mapování motoru, které byly změřeny ze zabudovaného snímače teploty trysky. Tlustší termočlánek, jenž měl snímat teplotu trysky 4 mm od hrany (viz obr. č. 37), nesnímal její teplotu, ale zřejmě teplotu chlazené stěny. Tato teplota se může porovnat s hodnotou teploty desky hlavy z GT-SUITE, která je vypočtená a uvedena v tabulce č. 13. Například pro substituci nafty 93.8 % je naměřená teplota chlazené stěny hlavy válce 110.8 °C a teplota vypočtená programem GT-SUIT na čelní ploše hlavy válce v oblasti, kde vyúsťuje tryska (obr. č. 56) je 112.3 °C. Hodnoty teplot se mírně liší, to je zřejmě způsobeno tím, že hodnota z GT-SUITE je brána z čela plochy hlavy válce, ale změřená hodnota je zhruba 4 mm od čela stěny hlavy.



tab. č. 13.: Tabulka zadávaných, naměřených a vypočtených hodnot pro 1500 min⁻¹

Naměřená data					GT-SUITE		
sig CNG [-]	IMEP [bar]	λ	ΔT [°C]	T egt [°C]	T v místě trysky [°C]	T v místě trysky [°C]	Tmax ve válci [°C]
protáčení	motoru	-	0	38.8	82.6	83.4	592.8
0.938	9.069	1.06	2.59	497.8	110.8	112.3	1957.5



obr. č. 56.: Deska hlavy motoru – pohled ze spalovacího prostoru, sig CNG = 0.938, $\lambda=1$

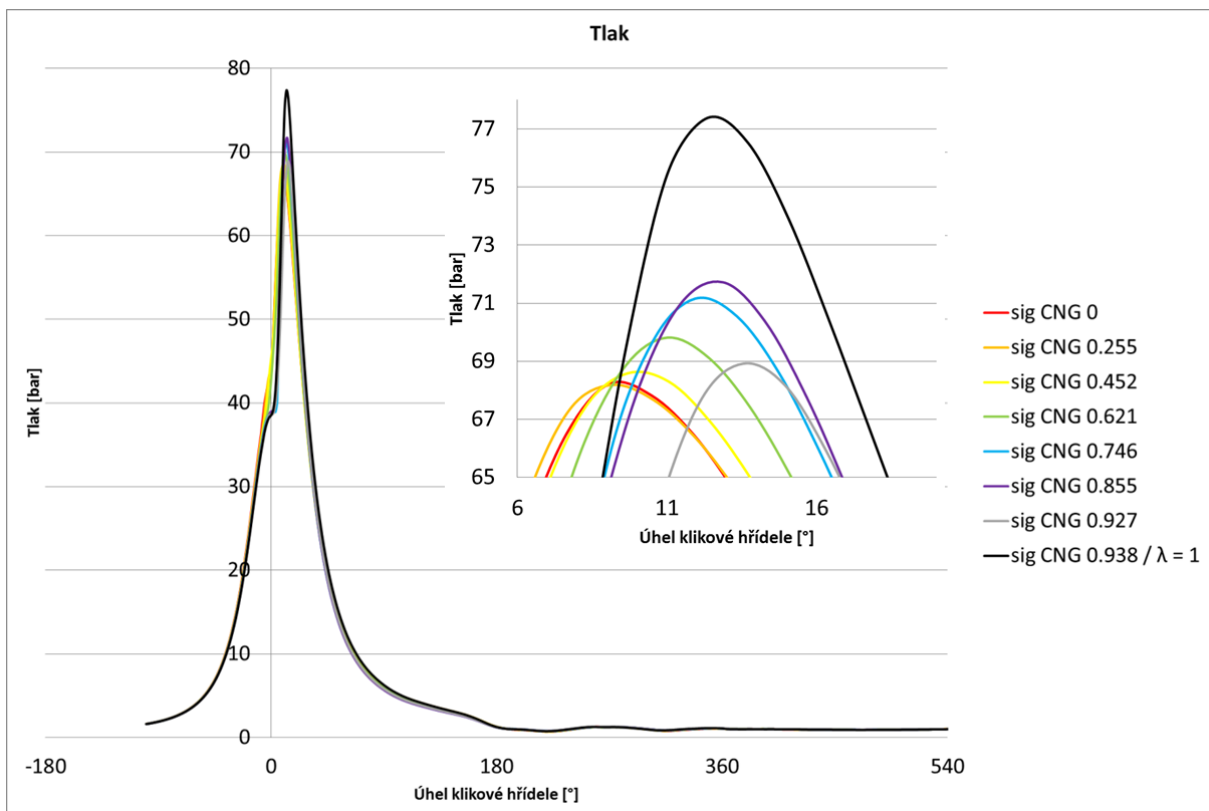
Teplotní rozložení desky hlavy motoru je zobrazeno na obrázku č. 56. Pro simulaci teplotního rozložení se zadaly parametry uvedené v druhém řádku tabulky č. 13 (pro 93.8 % náhrady nafty). V kroužku je znázorněno místo, kde vyústí tryska do spalovacího prostoru.

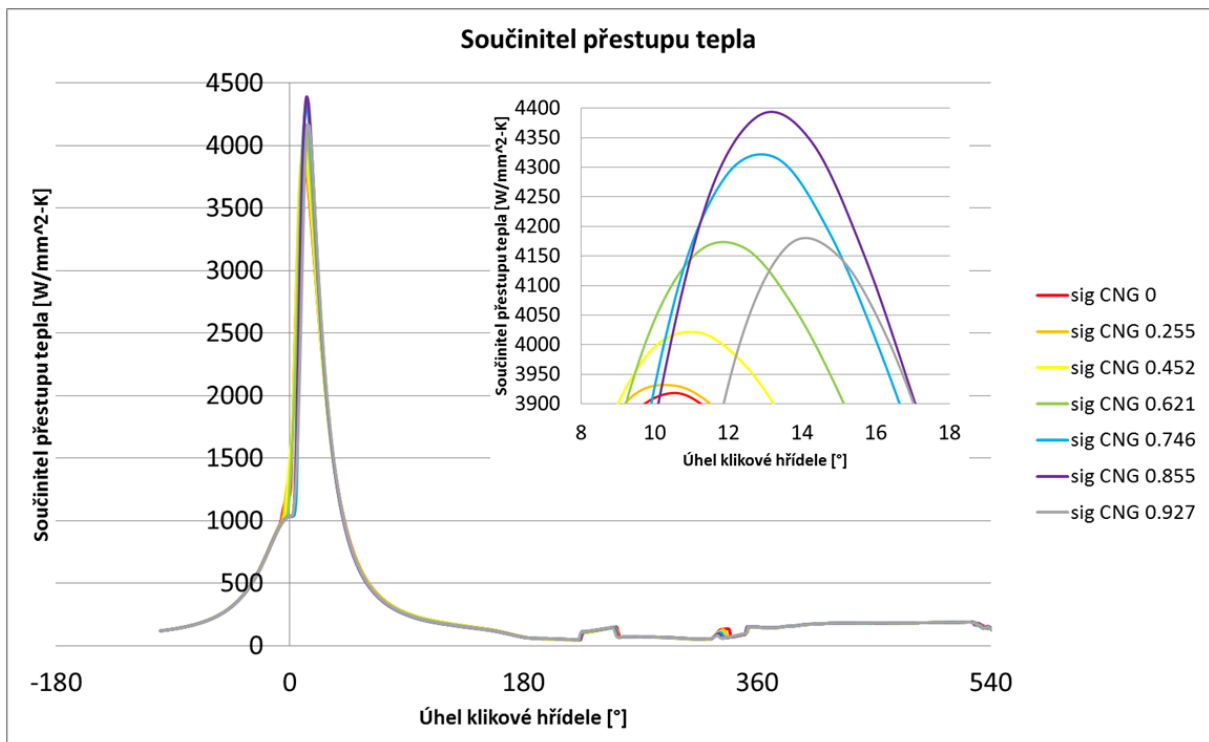
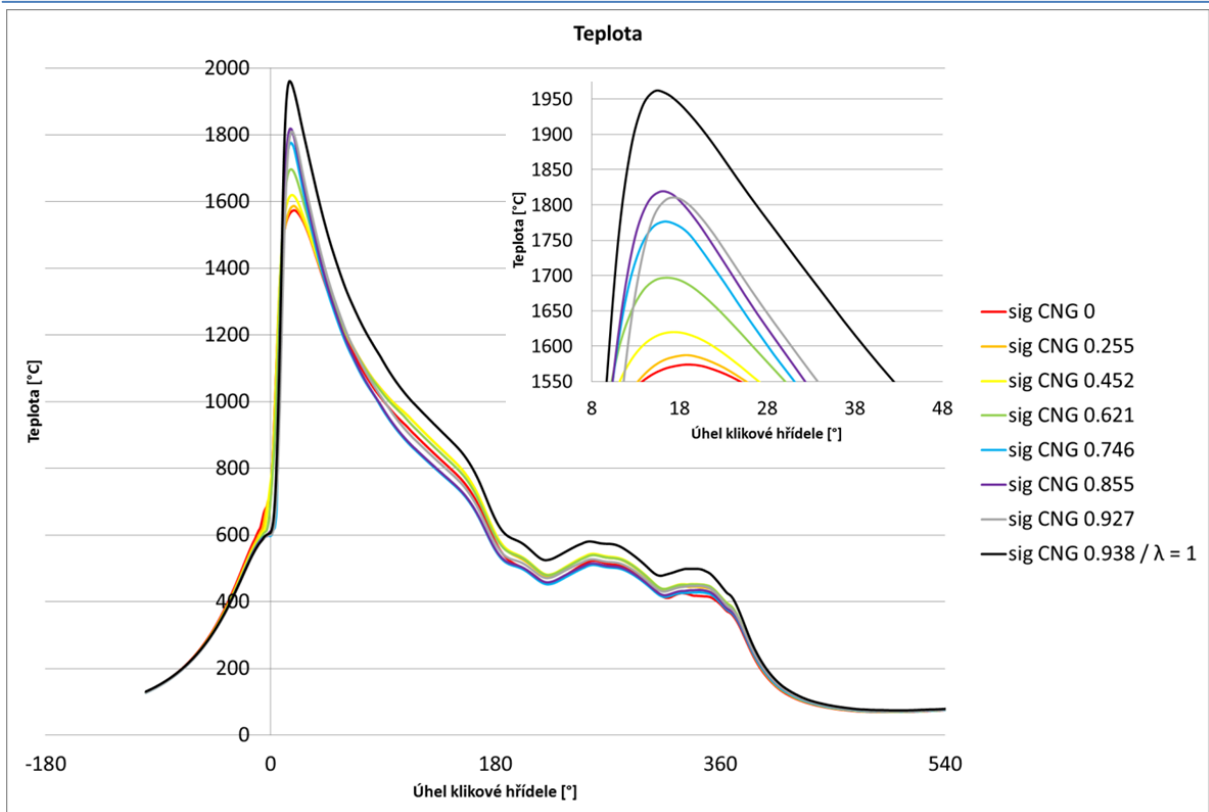
tab. č. 14.: Tabulka zadávaných, naměřených a vypočtených hodnot pro $\lambda = 1.3$ a 1500 min⁻¹

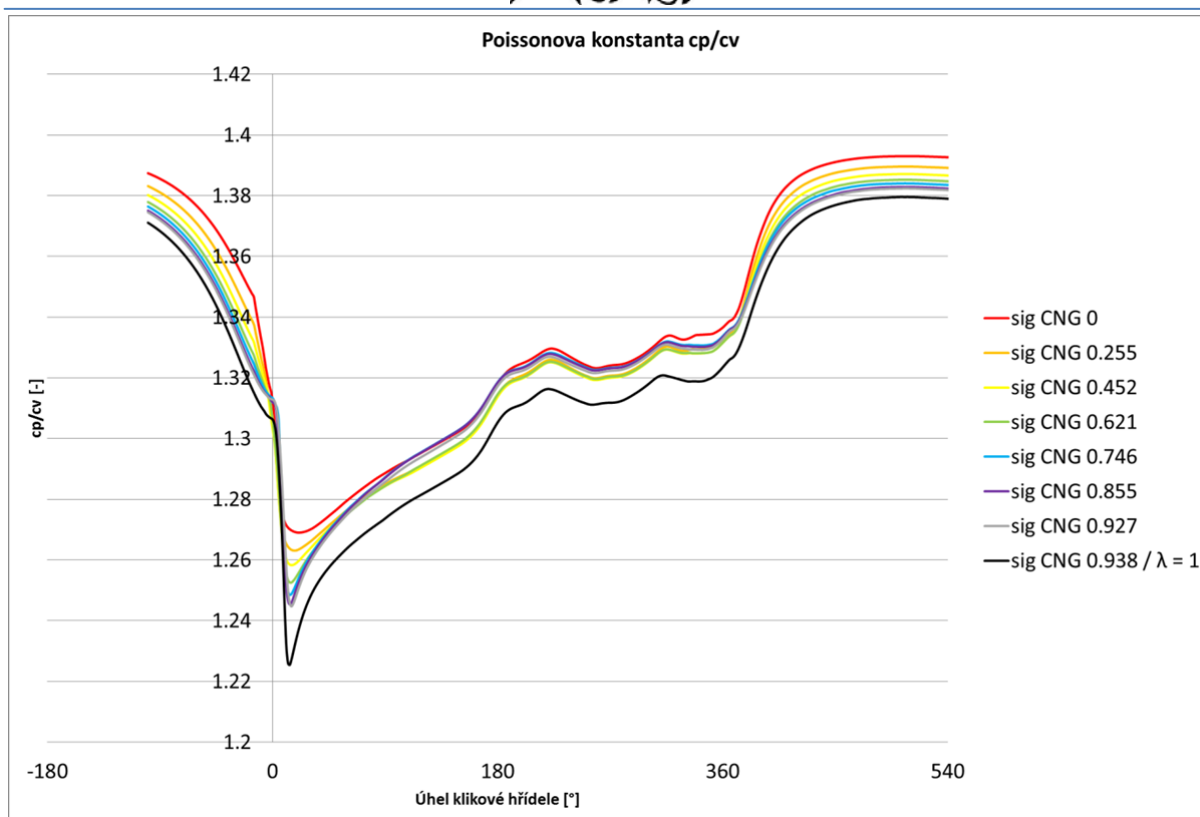
Naměřená data					GT-SUITE		Vypočteno
sig CNG [-]	IMEP [bar]	λ	ΔT_v [°C]	T egt [°C]	T v místě trysky [°C]	Tmax ve válci [°C]	Průměrná teplota ve válci [°C]
0	8.016	1.38	2.02	454.7	107.8	1570.9	472.3
0.255	8.075	1.32	2.08	476.0	108.0	1584.2	484.3
0.452	8.041	1.30	1.93	478.2	108.3	1617.1	485.8
0.621	8.100	1.31	1.88	473.9	108.8	1693.7	484.8
0.746	7.939	1.32	2.10	456.4	107.5	1772.9	464.6
0.855	7.985	1.33	1.94	448.8	108.2	1816.8	469.5
0.927	8.054	1.34	1.91	450.5	107.7	1807.2	475.8



Obrázek č. 57 znázorňuje grafy získané ze simulace motoru (dle tab. č. 14) provozovaného na konstantních otáčkách (1500 min^{-1}) a bohatosti směsi $\lambda=1.3$ s proměnlivou náhradou nafty. Přestože teplota ve spalovacím prostoru až na výjimku roste s rostoucí náhradou nafty, tak teplota hlavy motoru téměř stagnuje. Tento jev je patrný i na změřených datech v políčku ΔT_v čili na rozdílu teplot chladicí kapaliny vstupující do bloku motoru a vystupující z hlavy motoru. Což je zřejmě způsobeno tím, že vysoká teplota ve spalovacím prostoru má pouze velmi krátké působení. Teplota zprůměrovaná na cyklus se téměř nemění. Je zde také patrné, že při zvyšující se substituci nafty se zvyšuje přestup tepla do stěn a snižuje se poissonova konstanta.







obr. č. 57.: Grafy: tlaku, teploty, součinitele přestupu do stěn a poissonovy konstanty pro 1500 min^{-1} a $\lambda=1,3$

7.8.3 Shrnutí

Teplota stěny hlavy válce nemusí být přesná, jelikož se pro model v GT-SUITE vycházelo z výpočtu vyplývajícího z odhadovaného průtoku chladicího média. Lze ale předpokládat, že je tato teplota správná. Neboť se vychází z teploty získané z měření odtrženého termočlánku, který měřil pravděpodobně ochlazenou stěnu hlavy válce v místě zhruba 4mm od vyústění trysky vstřikovače a zároveň vyšel součinitel přestupu tepla pro styk s chladicí kapalinou téměř defaultní čili $4500 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.



8 Závěr

Tato diplomová práce obsahuje souhrnné informace o snižování teploty trysky, o návrhu vhodného teplotního snímače, o realizaci trasy vývodu termodrátků ze spalovacího prostoru a měření teploty trysky vstřikovače na funkčním jednoválcovém dvoupalivovém vznětovém motoru.

Největším úskalím dvoupalivového vznětového motoru jsou vysoké teploty špičky trysky, které zvyšují rychlost tvorby usazenin v otvůrkách vzniklých z rozkladu nafty a následkem toho dochází ke špatnému rozprášení paliva a také ke špatnému spalování. I přesto, že teplotní snímač neměl velkou životnost, bylo prokázáno, že teploty na špičce vstřikovací trysky jsou skutečně velmi vysoké. Nejvyšší teplota, jež byla naměřena, je 442 °C při 1500 min⁻¹, zatížení IMEP 8,5 bar a substituci nafty 96 %, $\lambda = 1$ a CA50 = 10°ATDC. Při porovnání s maximální hodnotou 300 °C je tato naměřená hodnota skutečně vysoká, neboť 300 °C je nejvyšší možnou hodnotou, kdy ještě nedochází k rozkladu nafty.

Hodnoty 442 °C bylo dosaženo již při nízkých otáčkách a středním zatížení. Chybí měřené body pro možnost porovnání údajů mezi naftovým a dvoupalivovým provozem, neboť došlo k předčasné destrukci měřícího snímače snímajícího teplotu trysky.

Největším problémem při měření teploty špičky trysky je utěsnění průchodu termodrátků ze spalovacího prostoru, protože na něj působí vysoký tlak i teplota. Tento problém bude vyřešen zde popisovaným vedením termodrátků drážkou vytvořenou v trysce a matici vstřikovače. Tím se docílí i přesnějšího měření špičky trysky.

Z diplomové práce vyplývá, že za vhodné řešení ke snížení teploty vstřikovací trysky lze považovat měděné přírubové pouzdro, které bude odvádět tepelné zatížení z trysky vstřikovače do ochlazované hliníkové části hlavy a tím se dosáhne nižší teploty na špičce trysky.

Návrh opatření je realizovatelný a není ani finančně náročný. Lze jej tedy jednoduše uvést do provozu.



Seznam použité literatury:

- [1] SAE International, Technical Papers, 2012-01-0826 [online]. [cit. 2016-04-08], Dostupné z: <http://papers.sae.org/2012-01-0826/>
- [2] KÖNIGSSON Fredrik, On Combustion in the CNG-Diesel Dual Fuel Engine [online]. [cit. 2016-04-02], Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:747001/FULLTEXT01.pdf>
- [3] Clean Air Power. [online]. [cit.2016-04-10], Dostupné z: <http://www.cleanairpower.com/howitworks.html>
- [4] SAE International, Technical Papers, 2012-01-0869 [online]. [cit. 2016-04-08], Dostupné z: <http://papers.sae.org/2012-01-0869/>
- [5] SAE International, Technical Papers, 2013-01-2505 [online]. [cit. 2016-04-07], Dostupné z: <http://papers.sae.org/2013-01-2505/>
- [6] SAE International, Technical Papers, 940548 [online]. [cit. 2016-04-09], Dostupné z: <http://papers.sae.org/940548/>
- [7] Google, vyhledávání patentů, US7028918 [online]. [cit.2016-04-16], Dostupné z: <http://www.google.com/patents/US7028918>
- [8] Google, vyhledávání patentů, US8297532 [online]. [cit.2016-04-16], Dostupné z: <http://www.google.com/patents/US8297532>
- [9] Google, vyhledávání patentů, US20090302130 [online]. [cit.2016-04-16], Dostupné z: <http://www.google.com/patents/US20090302130>
- [10] Google, vyhledávání patentů, CN202756145U [online]. [cit.2016-04-16], Dostupné z: <http://www.google.com/patents/CN202756145U>
- [11] Google, vyhledávání patentů, US3945353 [online]. [cit.2016-04-16], Dostupné z: <http://www.google.com/patents/US3945353>
- [12] Gasinsight s.r.o, DIESELGAS [online]. [cit.2016-03-02], Dostupné z: <http://www.diesel-gas.cz/>
- [13] Sběrka fyzikálních pokusů, pokus číslo: 1671[online]. 18.11.2016 [cit.2016-12-09], Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/1671/zavislost-teploty-varu-vody-na-tlaku>
- [14] OMA CZ a.s, *Chladící kapaliny* [online]. [cit.2016-12-10], Dostupné z: <http://www.omacz.cz/?p=2&kat=159>
- [15] The official magazine of the International Association of Drilling Contractors. [online]. květen 2016 [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: www.drillingcontractor.org/study-looks-emissions-economic-characteristics-dual-fuel-high-horsepower-engine-used-hydraulic-fracturing-application-39231



- [16] Omega Engineering, *termočláanky* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z:
<http://www.omegaeng.cz/prodinfo/thermocouples.html>
- [17] Wikipedia. *Termočlánek* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Termočlánek>
- [18] Thermoprozess s.r.o. *Termočlánková a kompenzační vedení* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z:
<http://thermoprozess.cz/>
- [19] VÁVRA J., Bortel I., Takáts M. *Dual Fuel Combustion of Natural Gas and Diesel on a Single Cylinder Reserch Engine*. Přiloženo na CD: 6019_Vavra_Jiri.docx
- [20] TU PRAHA RESEARCH ENGINE 5402 –manuál AVL. Přiloženo na CD: Manual_5488_UNI Prag.pdf
- [21] Jakar, *snímače teploty* [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:
<http://www.jakar.cz/uvod-do-mereni-teploty-snimace-teploty>
- [22] Katedra leteckej technickej prípravy (KLTP), *odporové snímače* [online]. [cit. 2016-12-12].
Dostupné z: <http://www.senzorika.leteckafakulta.sk/?q=node/37>
- [23] ČTK – TZB-info. *Teplota a její měření*. [online]. 2001-2016 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:
<http://www.tzb-info.cz/3115-teplota-a-jeji-mereni>
- [24] Vývoj.hw. *Kovové odporové senzory teploty*. [online]. 2014 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:
<http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-kovove-odporove-senzory-teploty.html>
- [25] E-mailová korespondence s Ruthofer Roman (hotline Austria AVL/AT) [online], 16.12. 2015,
hotline.austria@avl.com
- [26] David R. Lide, *List of thermal conductivities* . [online]. 2003 [cit. 2016-12-20]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_thermal_conductivities
- [27] Hannu Jääskeläinen, Alessandro Ferrari . *Injector Deposits*. [online]. 2014 [cit. 2016-12-29].
Dostupné z: https://www.dieselnet.com/tech/engine_fi_nozzle_deposits.php



Seznam obrázků

obr. 1.: Schéma dvoupalivového vznětového motoru (převzato z [15]).....	14
obr. 2.: Řez vstříkovací tryskou – umístění termočlánu (převzato z [2]).....	15
obr. 3.: Graf teploty trysky v závislosti na fázování spalování (převzato z [1]).....	16
obr. 4.: Graf teploty trysky v závislosti na její délce (převzato z [2]).....	16
obr. 5.: Graf teploty trysky v závislosti na náhradě nafty a poměru vzduchu k palivu (převzato z [2])	17
obr. 6.: Chlazení trysky tepelnou trubicí (převzato z [11]).....	18
obr. 7.: Chlazení trysky tepelnou trubicí (převzato z [11]).....	19
obr. 8.: Chlazení trysky objímkou (převzato z [11]).....	20
obr. 9.: Detail objímky z kuželem (převzato z [11]).....	20
obr. 10.: Porovnání teploty trysky s chlazením a bez (převzato z [7]).....	21
obr. 11.: Tryska s měděným pouzdrem (převzato z [1])	21
obr. 12.: Porovnání teploty trysky s a bez chlazení (převzato z [1]).....	21
obr. 13.: Náhrada nafty již není omezena teplotou trysky. (převzato z [1]).....	22
obr. 14.: Pohled na vstup kanálů vstříkovací trysky (převzato z [10]).....	23
obr. 15.: Řez kanály vstříkovací trysky chlazené chladícím médiem (převzato z [10]).....	23
obr. 16.: Přírubové pouzdro.....	24
obr. 17.: Typy měřících konců sond termočlánu (převzato z [16]).....	27
obr. 18.: Typy kovových odporových snímačů teploty (převzato z [21]).....	28
obr. 19.: Detail teplotně zatížené vstříkovací trysky, po testování na DDF.....	30
obr. 20.: Jednoválcový výzkumný motor a detail instalace vstříkovače zemního plynu v sacím potrubí (převzato z [19]).....	31
obr. 21.: Měřící zařízení (převzato z [19])	32
obr. 22.: Řez motorem AVL 5402 (převzato z [20]).....	33
obr. 23.: Konstrukční úprava vstříkovače 03L 130 277J.....	34
obr. 24.: Rozměry vŭlí v uložení	34



obr. 25.: Výkres vstříkovače s drážkami pro uložení vedení teplotních snímačů.....	34
obr. 26.: Výkres uložení vstříkovače v hlavě motoru. (převzato z [25]).....	35
obr. 27.: Řez hlavy válců kanály kolmo na osu vstříkovače – inkriminovaná místa	36
obr. 28.: Přípravek na obrázení drážky.....	37
obr. 29.: Vyobrazení úhlů pro překreslení na vstříkovač, pod kterým je vytvořen prostor pro vedení termodrátků.....	38
obr. 30.: Detail uložení vstříkovače s drážkou pro vývod termodrátků.....	39
obr. 31.: Foto svářecího zařízení určeného na sváření anemometru.....	40
obr. 32.: Fotografie originálního těsnění.....	41
obr. 33.: Úprava tenkého měděného těsnění.....	42
obr. 34.: Protážení termodrátků měděným těsněním.....	42
obr. 35.: Grafy znázorňující údaje z prvního měření.....	43
obr. 36.: Fotografie odtržených termočlánků.....	43
obr. 37.: Detail provedení termočlánků pro druhé měření	44
obr. 38.: Grafy znázorňující údaje z druhého měření – provoz na naftu	45
obr. 39.: Grafy znázorňující údaje z třetího měření – dvoupalivový provoz	46
obr. 40.: Grafy znázorňující zvýšení tep. trysky vlivem snížení nafty vstříkovačem.....	47
obr. 41.: Vstříkovač s porušenými termodrátky.....	47
obr. 42.: Detail porušení termodrátků.....	48
obr. 43.: Teplotní roztažnost trysky vstříkovače.....	49
obr. 44.: Řez vstříkovací tryskou BOSCH DLLA 162 P 2160.....	50
obr. 45.: Vyfrézovaná drážka v trysce BOSCH DLLA 162 P 2160.....	50
obr. 46.: Vyfrézovaná drážka v matici vstříkovače.....	51
obr. 47.: Tolerance uložení pouzdra v hlavě válců.....	52
obr. 48.: Tolerance uložení pouzdra.....	55
obr. 49.: Kóty vstříkovací trysky k provedení měření	56
obr. 50.: Průměry změřených trysek v závislosti na její délce	56
obr. 51.: Postup výroby přírubového pouzdra.....	57
obr. 52.: Model experimentálního jednoválce v GT-SUITE 7.4.0.	57



<i>obr. 53.: Závislost teploty varu vody [13].....</i>	<i>58</i>
<i>obr. 54.: Hodnoty modelu pístu jednoválce - GT-SUITE 7.4.0.....</i>	<i>60</i>
<i>obr. 55.: Mapa z měření experimentálního motoru - data pro GT-SUITE 7.4.0 [19].....</i>	<i>61</i>
<i>obr. 56.: Deska hlavy motoru – pohled ze spalovacího prostoru.....</i>	<i>62</i>
<i>obr. 57.: Grafy: tlaku, teploty, součinitele přestupu do stěn a poissonovy konstanty pro 1500 min⁻¹ a $\lambda=1,3$.....</i>	<i>63</i>



Seznam tabulek

<i>tab. 1.: Parametry experimentálního motoru (převzato a přeloženo z [2])</i>	15
<i>tab. 2.: Hodnoty nastavení motoru (převzato a přeloženo z [2])</i>	16
<i>tab. 3.: Teplotní rozsahy běžných termočlánků (převzato z [16])</i>	26
<i>tab. 4.: Teplotní rozsahy běžných termočlánků (převzato z [18])</i>	27
<i>tab. 5.: Specifikace výzkumného jednoválcového motoru AVL 5402 (převzato z [19][20])</i>	31
<i>tab. 6.: První měření</i>	43
<i>tab. 7.: Druhé měření – provoz na naftu</i>	45
<i>tab. 8.: Třetí měření – dvoupalivový provoz</i>	46
<i>tab. 9.: Porovnání měření – naftový provoz</i>	49
<i>tab. 10.: Součinitelé tepelné vodivosti vybraných materiálů [26]</i>	51
<i>tab. 11.: Rozměry trysky a pouzdra při určité teplotě</i>	53
<i>tab. 12.: Rozměry součástí v dotyku při určité teplotě</i>	53
<i>tab. 13.: Tabulka zadávaných, naměřených a vypočtených hodnot pro 1500 min⁻¹</i> ...	62
<i>tab. 14.: Tabulka zadávaných, naměřených a vypočtených hodnot pro $\lambda = 1.3$ a 1500 min⁻¹</i>	62



Seznam příloh

(P1) Postup montáže/demontáže vstřikovače	str. č. 74
(P2) Potřebný materiál/nářadí pro tvorbu přírubového pouzdra	str. č. 78
(P3) Fotografie	elektronická
(P4) Data z měření	elektronická
(P5) Výpočty	elektronická
(P6) Rešerše - patenty	elektronická
(P7) 3D CAD model vytvořený v Autodesk Inventor 2013	elektronická
(P8) Model jednoválcového motoru vytvořený v GT-SUTE	elektronická
(P9) Výkresová dokumentace	elektronická

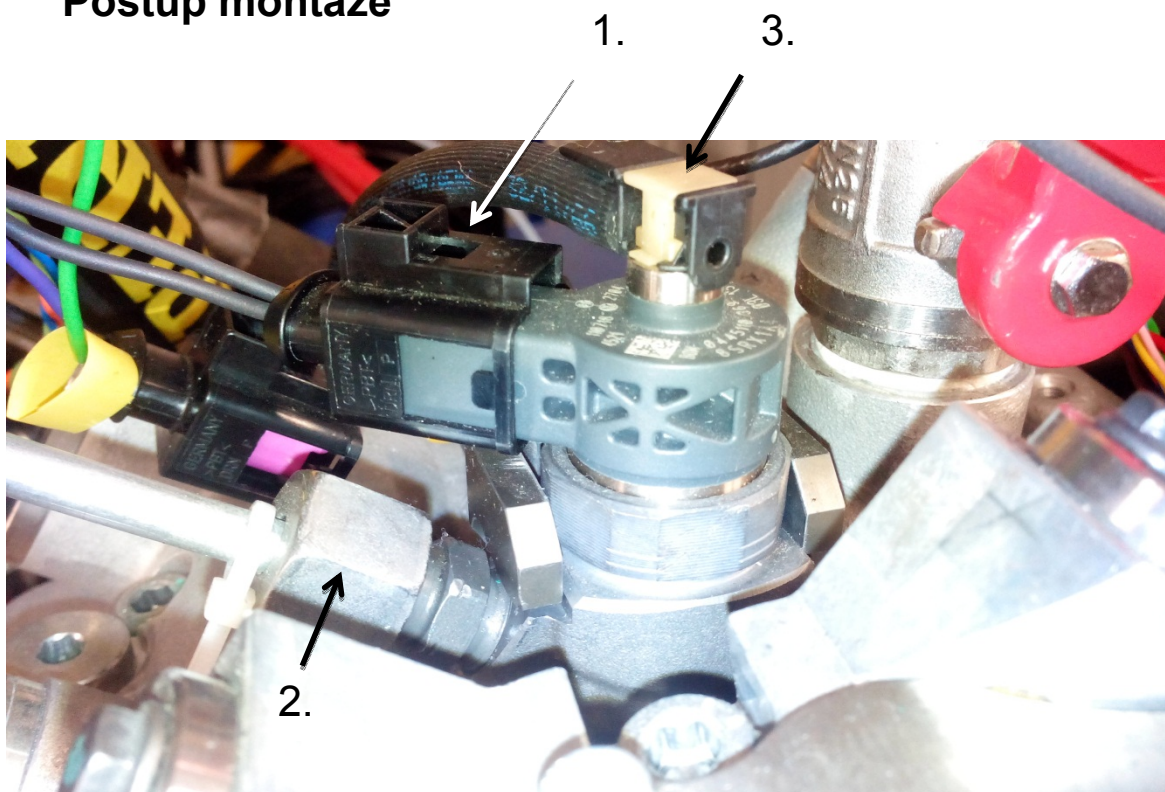
Všechny přílohy a text diplomové práce jsou obsaženy v přiloženém CD.



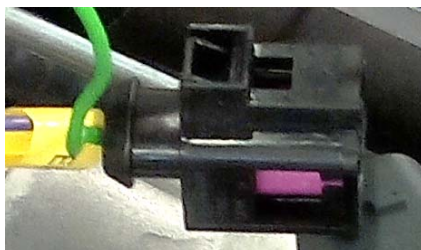
Příloha P1

Postup montáže / demontáže vstřikovače

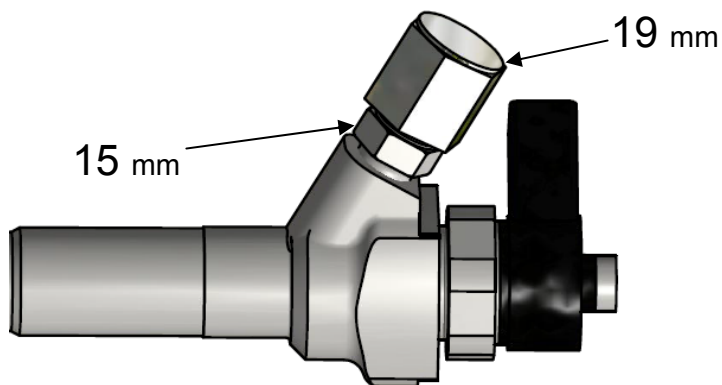
Postup montáže



1. Odepneme elektrický konektor ze vstřikovače



2. Povolíme a odstraníme přívodní vedení paliva plochým klíčem o rozměru (19 a 15) mm

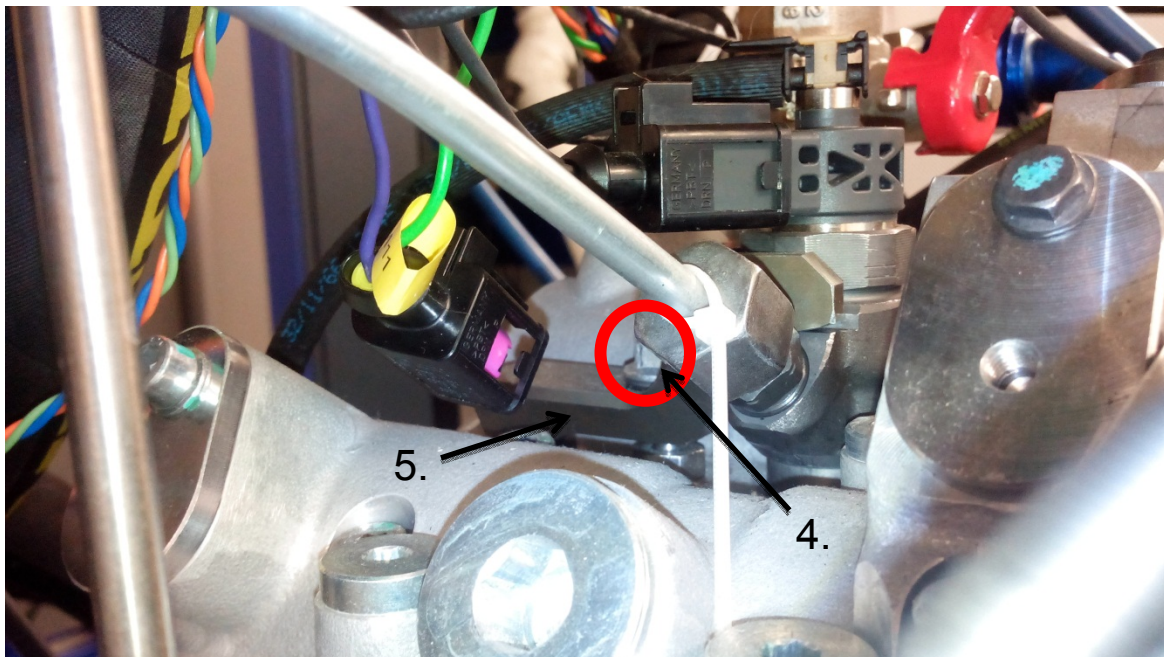


3. Odpojíme hadičku zpětného vedení paliva ze vstřikovače – vysuneme bílý segment



4. Vyšroubujeme matici nástrčkovým klíčem o rozměru 13 mm

- Malá ráčna + dlouhý nástavec



5. Odstraníme třmen držící vstřikovač



6. Vysuneme vstřikovač z motorové hlavy

7. Vyčistíme / přefrézujeme dosedací plochu vstřikovače

- použijeme frézu o průměru 15 mm





8. Vložíme nový vstřikovač se zabudovanými termodrátky
 - Vkládáme opatrně a držíme se s termodrátky ve vyfrézované drážce tak, abychom drátky neporušili



9. Třmen vkládáme před dosazením vstřikovače
10. Našroubujeme matici a dotáhneme předepsaným momentem (M8 ... 25Nm +/- 10%)
11. Namontujeme vysokotlakou trubičku přívodního vedení paliva
12. Zapojíme el. konektor
13. Zapojíme hadičku zpětného vedení paliva do vstřikovače
14. Termodrátky připojíme do označených konektorů





Příloha P2

Potřebný materiál/nářadí pro tvorbu přírubového pouzdra



Nářadí potřebné k tvorbě pouzdra

- **Vysokoteplotní keramicko-kovový tmel do teploty 760 °C –H1000**

Používá se na: hliník, litinu, ocel, nerez ocel,

Vytvrzuje teplem: 2-4 hod. při 20 °C dále 1-2 hod při 71 °C, konečné vytvrzení za 24 hod/20 °C

Odolává teplotám: -40 °C až +760 °C

Lze ho mechanicky opracovávat



Výrobce HF Market

Dostupné na: <http://www.hfservis.cz/cs/products/25-h-1000/>

- **Tyč měděná kruhová, EN 13601, průměr 20 mm**

Číslo položky: 9G0012K

Dostupné na: <http://www.ferona.cz/>

- **Stopková fréza 1,5 mm pro drážky per**

Průměr drážky: 1.5 mm (e8)

Upínací stopka: 6 mm

Celková délka: 47 mm

Cena: 255 Kč s DPH

Výrobce: ZPS

Objednávací číslo: 100000224764

Dostupné na: <https://www.kovonastroje.cz/>

Co8





○ **Výstružník stavitelný 7.75 – 8,50 mm HSS**

Nastavitelný průměr 7.75 až 8,50 mm

Celková délka 107 mm

Čtyřhran 4,5 mm

Výstružníky stavitelné				YATO	
Obj. č.	Ø (mm)	Obj. č.	Ø (mm)	Obj. č.	Ø (mm)
YT28950	7,75-8,50	YT28957	13,75-15,25	YT28964	29,50-33,50
YT28951	8,5 - 9,25	YT28958	15,25-17,00	YT28965	33,50-38,00
YT28952	9,25-10,00	YT28959	17,00-19,00	YT28966	38,00-44,00
YT28953	10,00-10,75	YT28960	19,00-21,00	YT28967	44,00-54,00
YT28954	10,75-11,75	YT28961	21,00-23,00		
YT28955	11,75-12,75	YT28962	23,00-26,00		
YT28956	12,75-13,75	YT28963	26,00-29,50		



Cena: 263 Kč s DPH

Výrobce: YATO

Objednávací číslo: YT-28950

Dostupné na: <http://www.az-hobby.cz/p/12917/vystruznik-stavitelny-775-850mm-hss>

○ **Držák na mini SK nože**

Pro průměr nože – 6 mm

Upínací průměr držáku: 16 mm

Celková délka držáku: 90 mm

Cena: 2 426 Kč s DPH

Výrobce: CARMEX

Objednávací číslo: 100000306934

Dostupné na: <https://www.kovonastroje.cz/>



○ **MINI vtvrtávací nůž 6x22 mm**

Min. průměr díry: 6.1 mm

Upínací průměr nože: 6.0 mm

Délka L1: 22 mm

Celková délka 50 mm

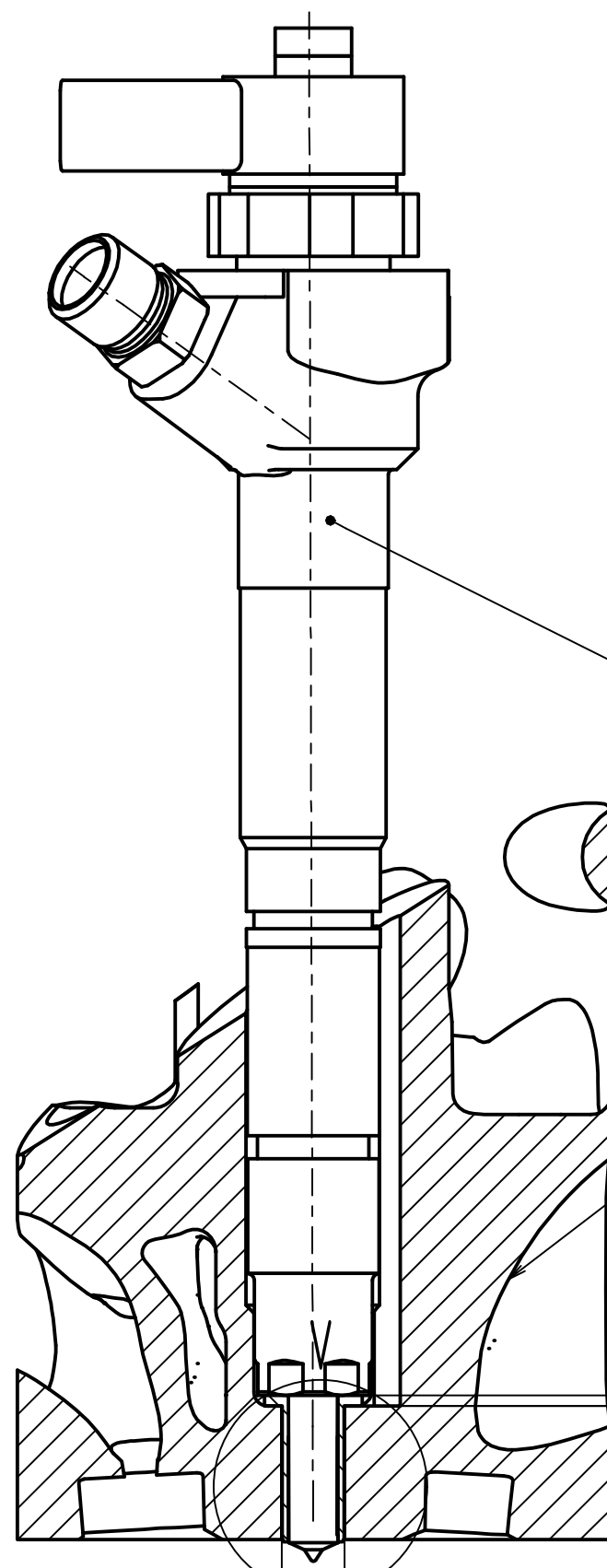
Cena: 800 Kč s DPH

Výrobce: CARMEX

Objednávací číslo: 2000011061135

Dostupné na: <https://www.kovonastroje.cz/>





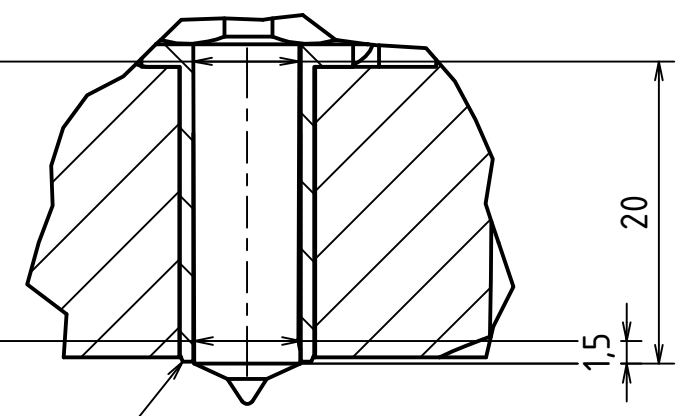
POUZDRO-DÍRA $\varnothing 7,122 \begin{matrix} +0,000 \\ -0,010 \end{matrix}$

TRYSKA $\varnothing 7,122$

POUZDRO-DÍRA $\varnothing 6,99 \begin{matrix} -0,008 \\ -0,010 \end{matrix}$

TRYSKA $\varnothing 6,99$

V (2:1)



$1,5 \begin{matrix} +0,03 \\ -0,00 \end{matrix}$

DÍRA $\varnothing 8,5$
POUZDRO $\varnothing 8,5 \begin{matrix} -0,01 \\ -0,02 \end{matrix}$

$19,2 \pm 0,05$

3	HLAVA MOTORU	00040	-	1
2	PŘÍRUBOVÉ HRDLO	10000	0,005kg	1
1	VSTŘIKOVAČ 03L 130 277J	00010	0,521kg	1
Položka	Název	Číslo výkresu	Hmotnost	Množství
NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis
KRESLIL	Jakub ŠÁL	31.12.2016	NORM. REF	Datum
SKUPINÁŘ			PREZK.	
TECHNOL.			SCHVÁLIL	
			HMOTNOST	kg
			MIKROFILM	Č. SVITKU
			SESTAVA	KUSOVNIK
			STARÝ V.	

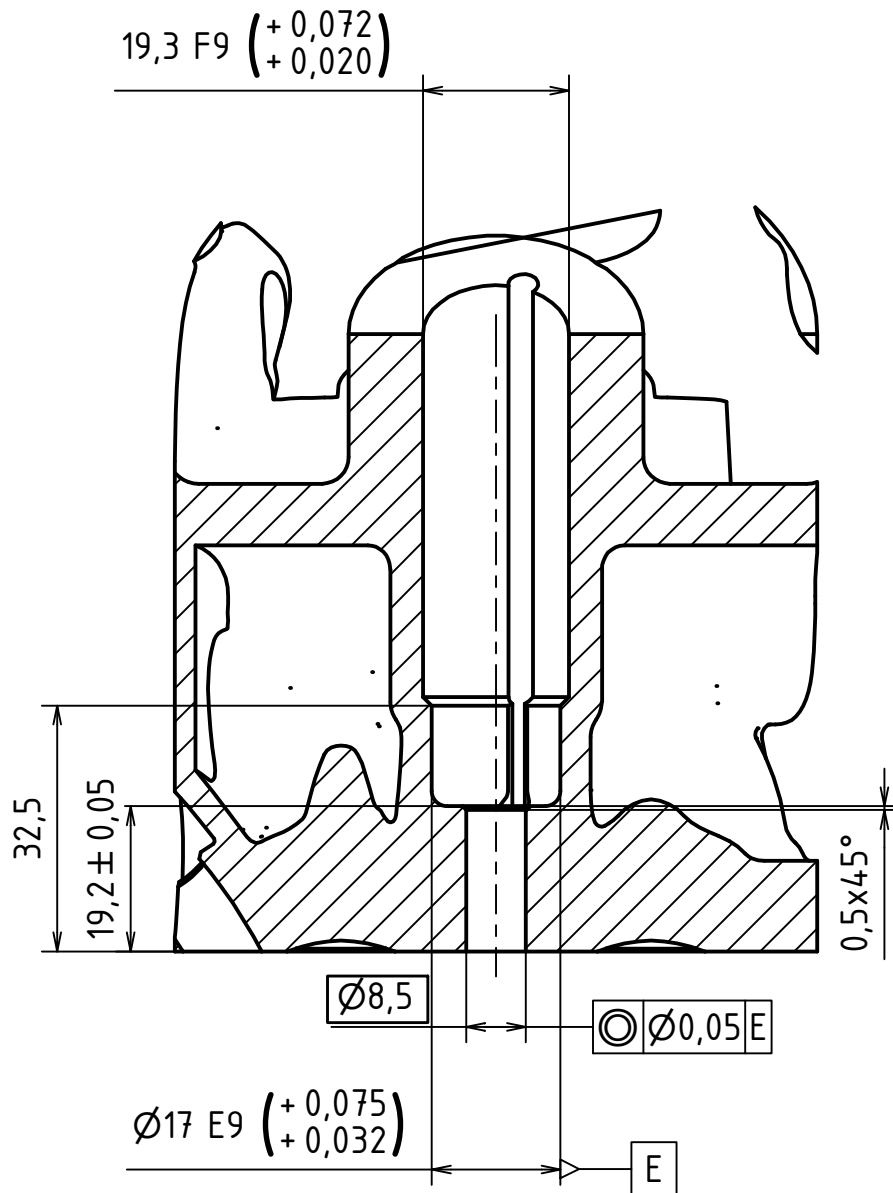
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

NÁZEV
ULOŽENÍ VSTŘIKOVAČE

ČÍSLO VÝKRESU
00000

TYP:

LIST:



DÍRU PR8.5 VYSTRUŽIT STAVITELNÝM VÝSTRUŽNÍKEM

MATERIÁL: AL							
POLOTOVAR: Hlava motoru AVL 5488							
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)							
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015:							
PŘESNOST ISO 2768 - mK							
Podpis	Datum	Podpis	Datum	INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
NAVRHL		STATIK		HMOTNOST	kg	MĚŘÍTKO	1:1
KRESLIL	ŠÁL JAKUB	23.12.2016	NORM. REF	MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ			PREZK.	SESTAVA	00000	KUSOVNIK	
TECHNOL.			SCHVÁLIL	STARÝ V.			

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

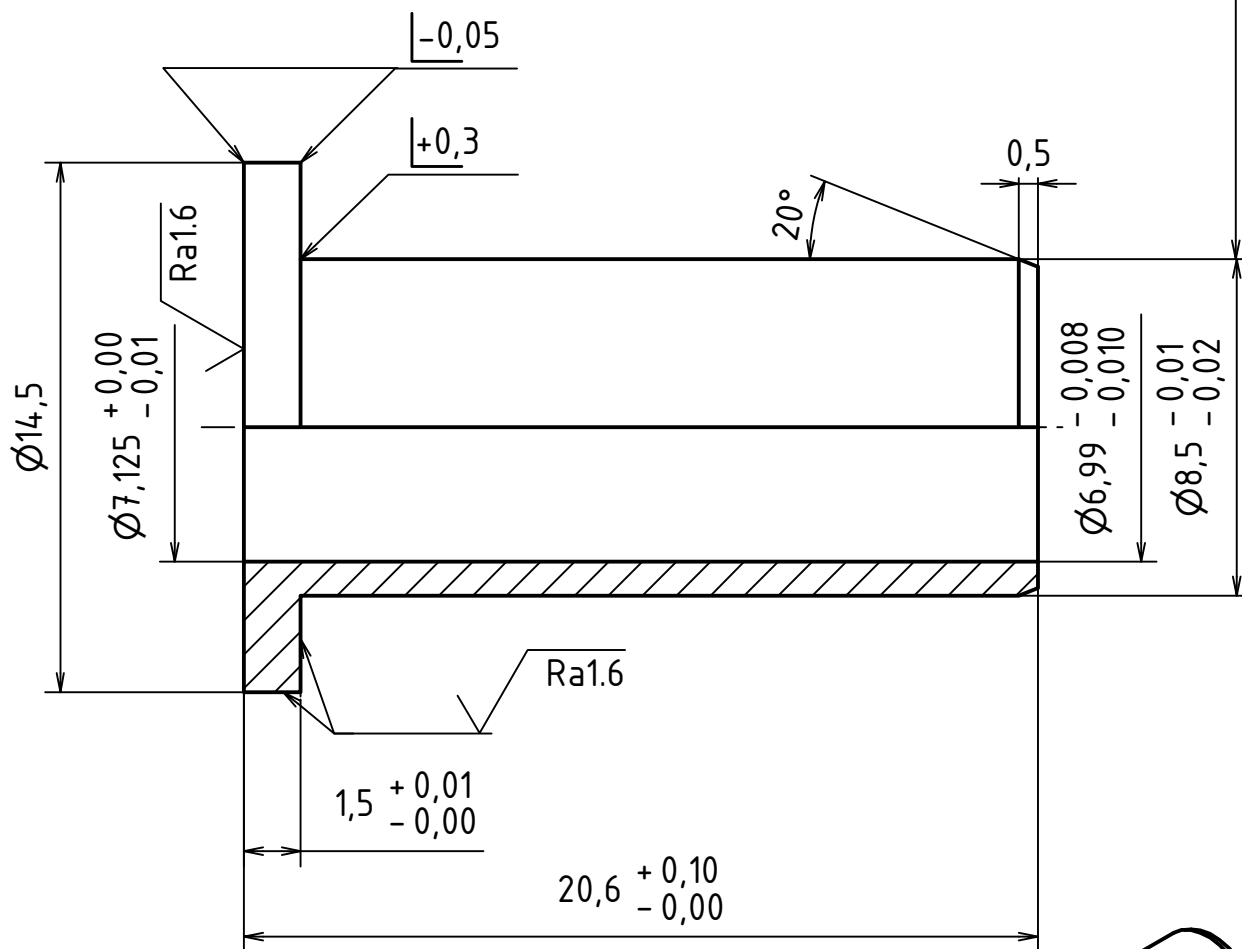
NÁZEV

HLAVA MOTORU

ČÍSLO VYKRESU

00040

ÚBĚR MATERIÁLU AŽ PO NALISOVÁNÍ NA TRYSKU VSTRÍKOVAČE



Ra0.4 (Ra1.6)

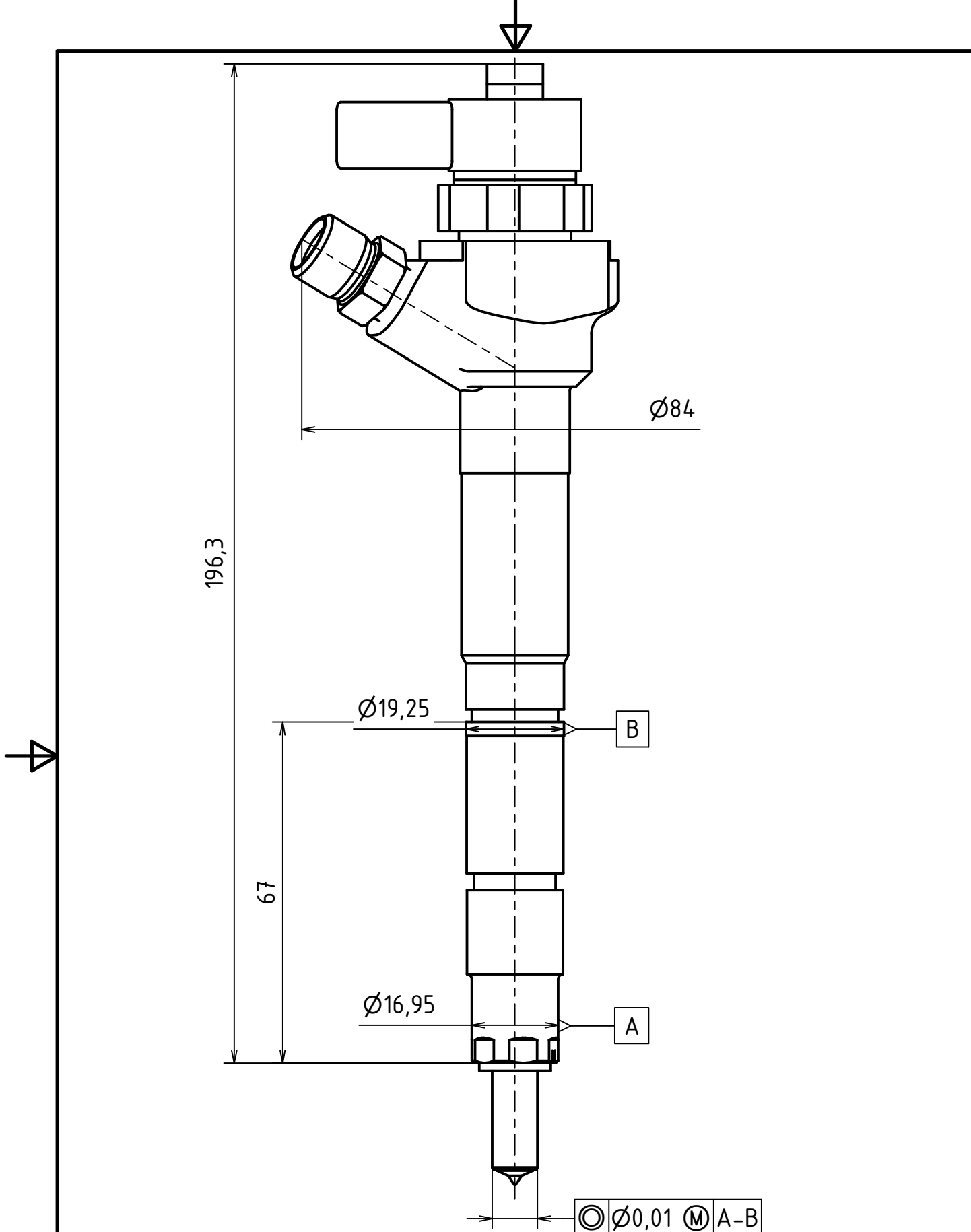
MATERIÁL: CW004A-D-A (Cu-ETP) dle EN 13601							
POLOTOVAR: TYČ PR20-50							
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)							
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015:							
PŘESNOST ISO 2768 - fH							
Podpis		Datum		Podpis		Datum	
NAVRHL		STATIK		HMOTNOST		0.005 kg	
KRESLIL ŠÁL JAKUB		10.12.2016		MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ		PREZK.		SESTAVA		00000	
TECHNOL.		SCHVÁLIL		STARÝ V.		KUSOVNIK	

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

NÁZEV: PŘÍRUBOVÉ POUZDRO

ČÍSLO VYKRESU: 10000



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

NÁZEV	TYP:
PŘÍRUBOVÉ POUZDRO	
ČÍSLO VYKRESU	
10000	