

Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

WP09: Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Vedoucí konsorcia podílející se na pracovním balíčku

České vysoké učení technické v Praze, zodpov. osoba Ing. Marcel Diviš, Ph.D.

Členové konsorcia podílející se na pracovním balíčku

Motorpal, a. s. Ing. Karel Báča, Vysoké učení technické v Brně Prof. Ing. V. Píštěk, DrSc.,
Technická univerzita v Liberci Prof. Ing. C. Scholz, Ph.D.

Hlavní cíl balíčku

Za pomoci cenově výhodných vstřikovacích zařízení typu Common Rail zvýšit dosažitelné vstřikovací tlaky až ke hranici 200 MPa a zároveň umožnit tvarování průběhu zákona vstřiku výhodné z hlediska zlepšení průběhu spalování a minimalizace tvorby škodlivin – zde ve vztahu k pracovnímu balíčku WP20.

Dílčí cíle balíčku pro nejbližší období

Realizace zkušebního stavu pro měření průběhu výstřiku paliva. 6/2013

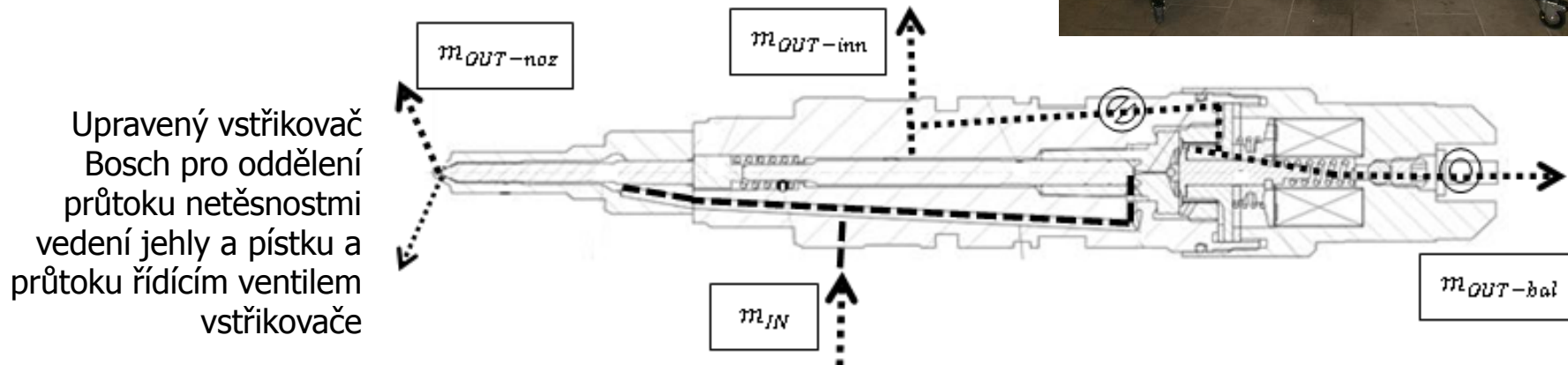
Vývoj software pro zpracování a vyhodnocení optického záznamu výstřiku paliva 12/2013

Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Zkušební zařízení pro měření zdvihu jehly a průtoku netěsnostmi ve vstřikovači (TUL)

Postup prací:

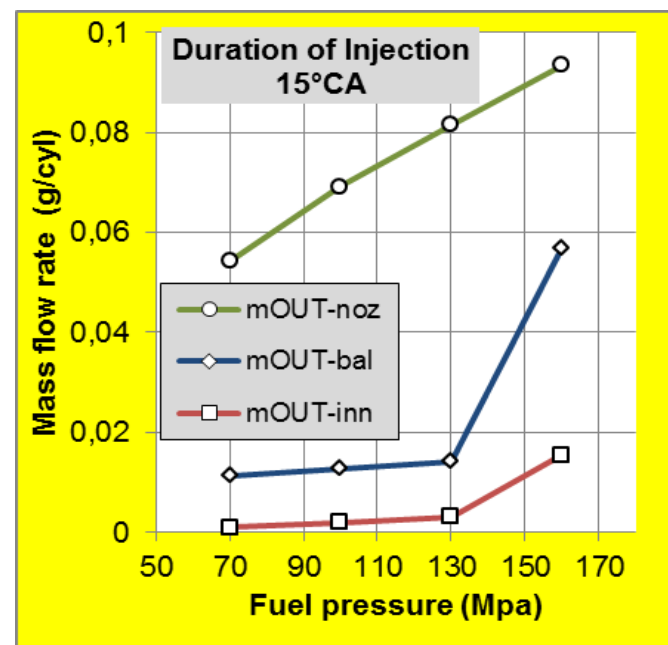
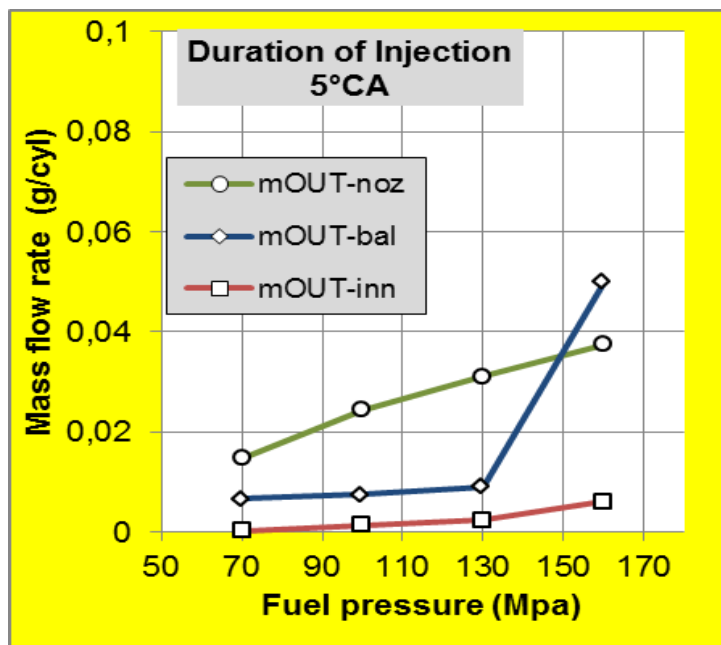
- Úprava vstřikovače pro analýzu průtoků netěsnostmi
- Současné měření:
 - Průtoku netěsnostmi ve vedení jehly a řídicího pístku
 - Průtoku kuličkovým řídicím ventilem
 - Průtoku tryskou (vstřikované množství)



Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Zkušební zařízení pro měření zdvihu jehly a průtoku netěsnostmi ve vstřikovači (TUL)

- Při kratších otevřeních trysky a vyšších tlacích je dominantní průtok řídícím ventilem
- Při delších otevřeních trysky je dominantní průtok tryskou, přičemž při vysokých tlacích se snižuje rozdíl vůči průtoku řídícím ventilem

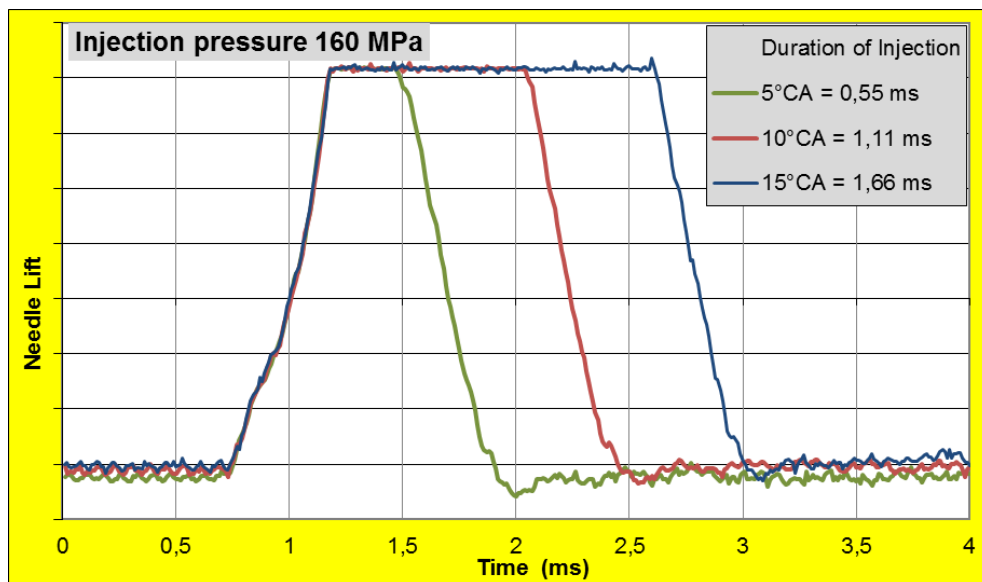
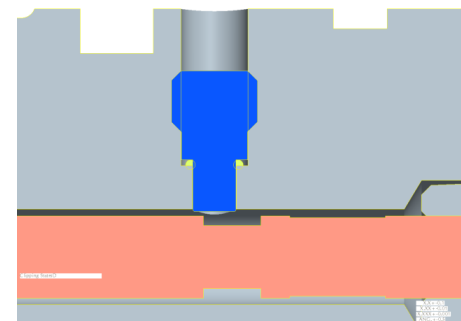
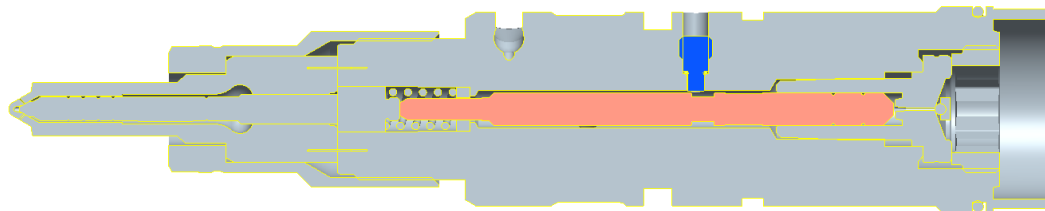


Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Zkušební zařízení pro měření zdvihu jehly a průtoku netěsnostmi ve vstřikovači (TUL)

Postup prací:

- Úprava tělesa a řídicí tyčky vstřikovače a instalace snímače pohybu jehly fy MicroEpsilon LS04



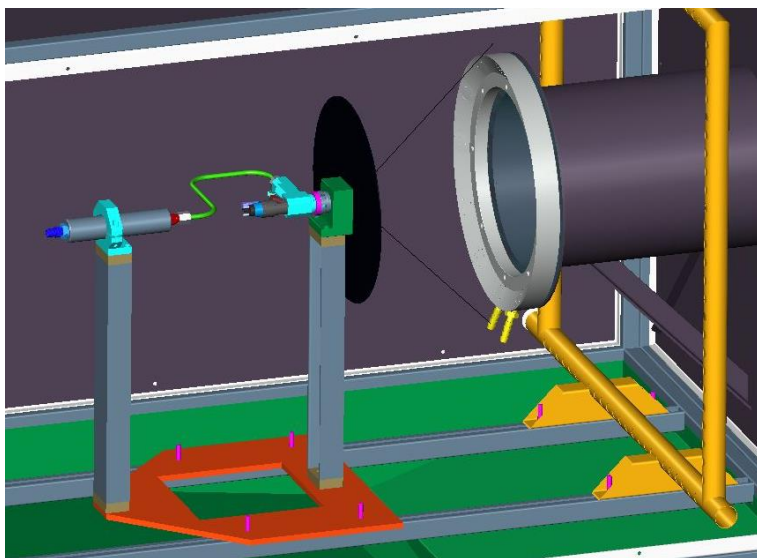
Průběhy zdvihu jehly při konstantním vstřikovacím tlaku paliva a různých dobách aktivace elektromagnetu

Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Zkušební zařízení pro vizualizaci vstřiku. Software pro zpracování obrazového signálu (VUT v Brně, Motorpal)

Postup prací:

- Komora byla navržena jako uzavřená skříň, připojená ke stanici s Common Rail systémem
- Instalován odtah a osvětlení s chlazením dostatečné pro expozice 1/10 000 s



Podrobnější
informace v
příloze
prezentace

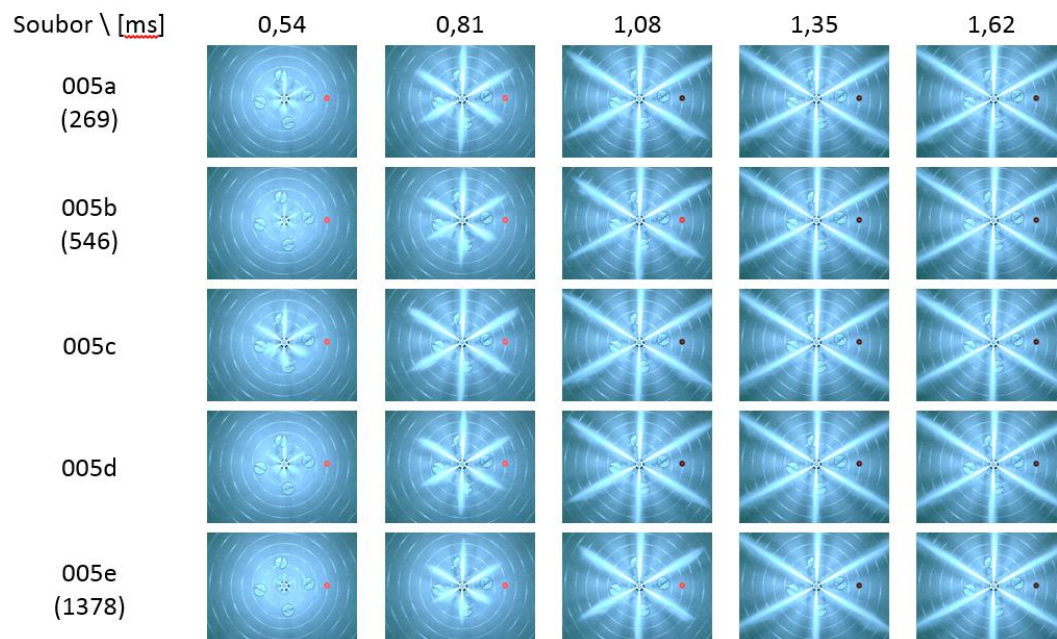


Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

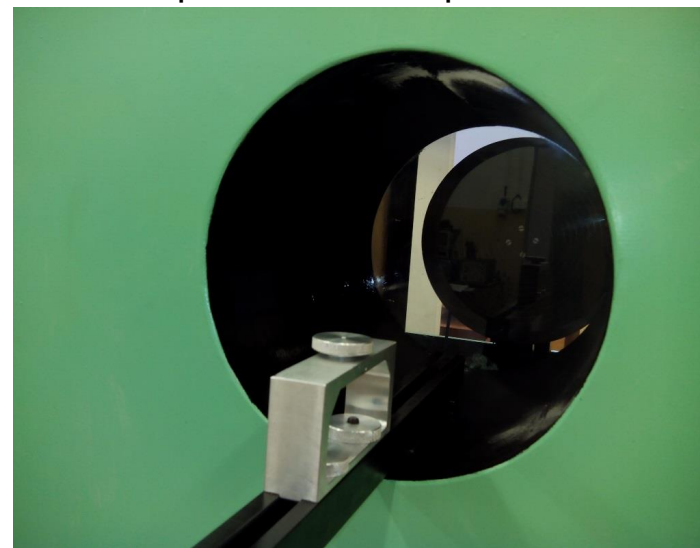
Zkušební zařízení pro vizualizaci vstřiku. Software pro zpracování obrazového signálu (VUT v Brně, Motorpal)

Postup prací:

- Kamera je nainstalována na posuvném loži s možností změny horizontální roviny snímání
- Ke snímání použity vysokorychlostní kamery Olympus iSPEED 2 a Vision Research Phantom



Detail posuvného lože pro kameru



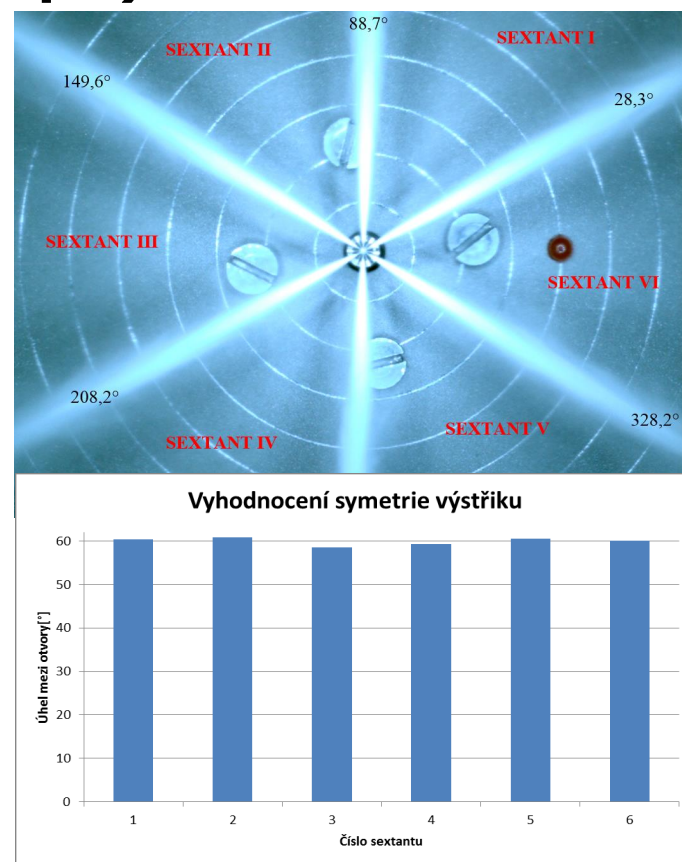
Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Zkušební zařízení pro vizualizaci vstřiku. Software pro zpracování obrazového signálu (VUT v Brně, Motorpal)

Postup prací:

Prvotní analýza byla zaměřena na zhodnocení:

- Symetrie výstřiku (rovnoměrné rozložení 6 otvorů v trysce)
- Zhodnocení počátku (zahájení) výstřiku z jednotlivých otvorů trysky
- Zpoždění zahájení výstřiku za otvíracím proudem
- Zpoždění ukončení výstřiku za otvíracím proudem
- Zhodnocení rychlosti záznamu (diference vzdálenosti paprsků mezi jednotlivými snímky)
- Zhodnocení průběhu rychlosti paprsků
- Posouzení rovnoměrnosti hustoty aerosolu v jednotlivých paprscích
- Dolet jednotlivých paprsků



Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Zkušební zařízení pro vizualizaci vstřiku. Software pro zpracování obrazového signálu (VUT v Brně, Motorpal)

Postup prací:

Vytvořen software Evalin 1.0, jehož základní vlastnosti jsou:

- kalibrace snímaného prostoru,
- hodnocení a vizualizace symetrie výstřiku paliva,
- hodnocení rychlosti výtoku z trysky,
- posouzení rovnoměrnosti výstřiku.

Evalin 1.0 - Posouzení rovnoměrnosti výstřiku



		Tryska 1	Tryska 2	Tryska 3	Tryska 4	Tryska 5	Tryska 6
Pozice - šířka	pixel	700	600	400	300	400	600
Pozice - výška	pixel	360	500	500	150	150	120
Rovnoměrnost výšečí	%	135,6	124,3	102,9	80,8	61,4	94,9

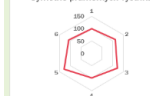
ZOBRAZIT PŘEHLED

ZOBRAZIT
NASTAVENÍ

ZOBRAZIT SYMETRII
VÝSTŘIKU

Evalin 1.0 - Symetrie délky výstřiku

Symetrie průměrných výstřiků



		Tryska 1	Tryska 2	Tryska 3	Tryska 4	Tryska 5	Tryska 6
Délka proudu 1	pixel	15	16	18	15	19	16
Délka proudu 2	pixel	15	18	18	15	19	16
Délka proudu 3	pixel	15	16	18	15	19	16
Průměrná délka proudu	%	100,0	111,1	120,0	100,0	126,7	106,7

Rychlost výtoku z trysky



		Snímek 1	Snímek 2	Snímek 3	Snímek 4
Paliva konce proudu	ms	0	0,1	0,2	0,3
Šířka	pixel	500	600	600	776
Výška	pixel	360	420	475	530
Rychlost výtoku	m/s	58,3	52,7	51,0	
Průměrná rychlost výtoku	m/s	54,0			

ZOBRAZIT PŘEHLED

ZOBRAZIT
SYMETRII
VÝSTŘIKU

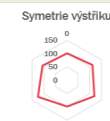
ZOBRAZIT
ROVNOMĚRNOST
HUSTOTY

Evalin 1.0 - PŘEHLED VYHODNOCENÍ VÝSTŘIKU



Nastavení výstřiku

ZOBRAZIT
NASTAVENÍ



Symetrie výstřiku

ZOBRAZIT
SYMETRII
VÝSTŘIKU



Rovnoměrnost hustoty

ZOBRAZIT
ROVNOMĚRNOST
HUSTOTY

Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

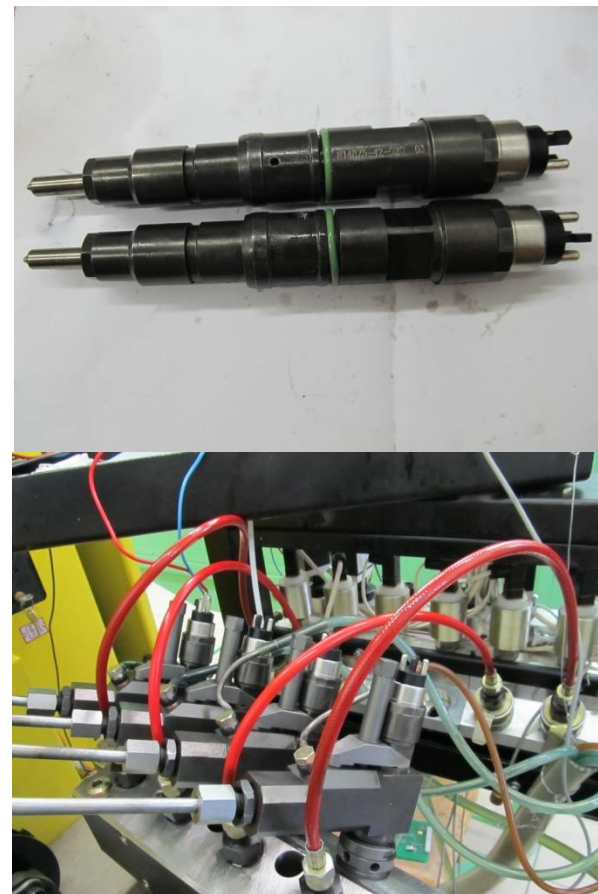
Výroba a testování vstřikovače Common Rail (Motorpal)

Postup prací:

- Navrženy dvě verze řídicího ventilu (kuličkový a tlakově vyvážený).
- Vyrobeny funkční vzorky vstřikovačů s kuličkovým ventilem (N14875-42-020).
- Probíhá výroba funkčních vzorků s tlakově vyváženým ventilem
- Provedena úprava vstřikovače pro měření zdvihu jehly trysky



Úprava
vstřikovače
pro měření
zdvihu jehly



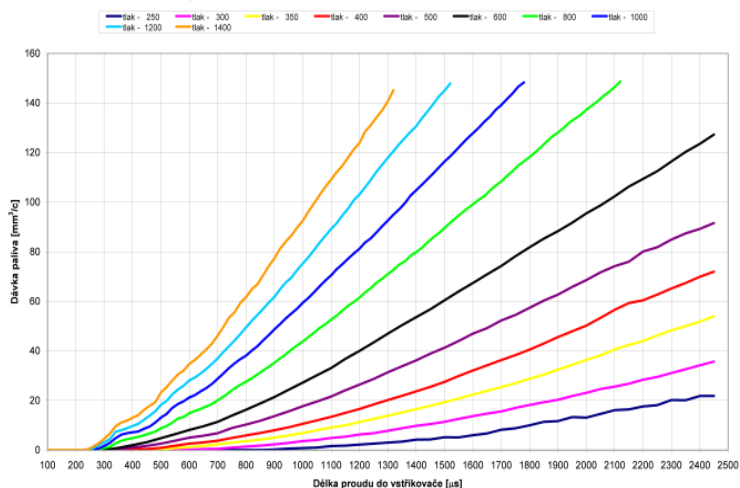
Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Výroba a testování vstřikovače Common Rail (Motorpal)

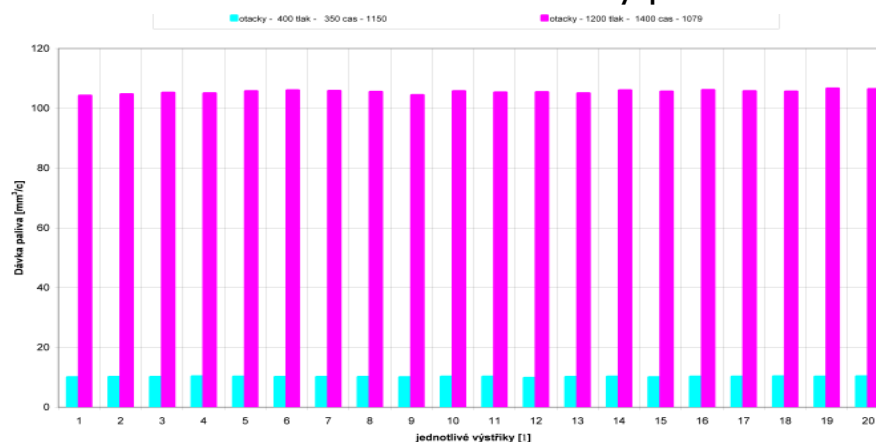
Postup prací:

- Probíhá testování na stanici a měření s funkčními vzorky vstřikovačů s kuličkovým ventilem (různé trysky, různé clony, apod.) pro validaci modelu.

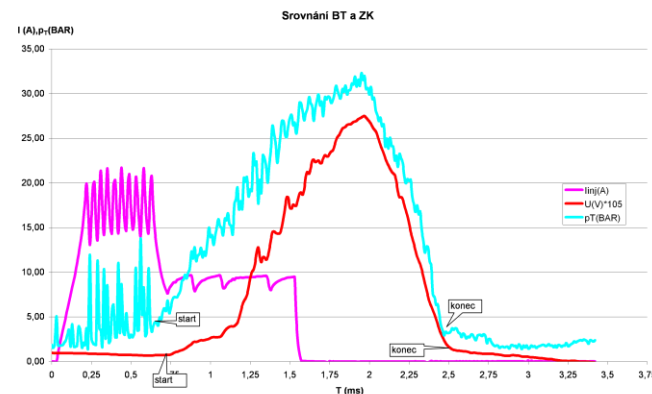
Vstřikovaná dávka v závislosti na tlaku paliva a délce aktivace elektromagnetu vstřikovače



Stabilita vstřikované dávky paliva



Průběh proudu v elektromagnetu, tlaku v Boschově trubce a napětí ze snímače zdvihu jehly

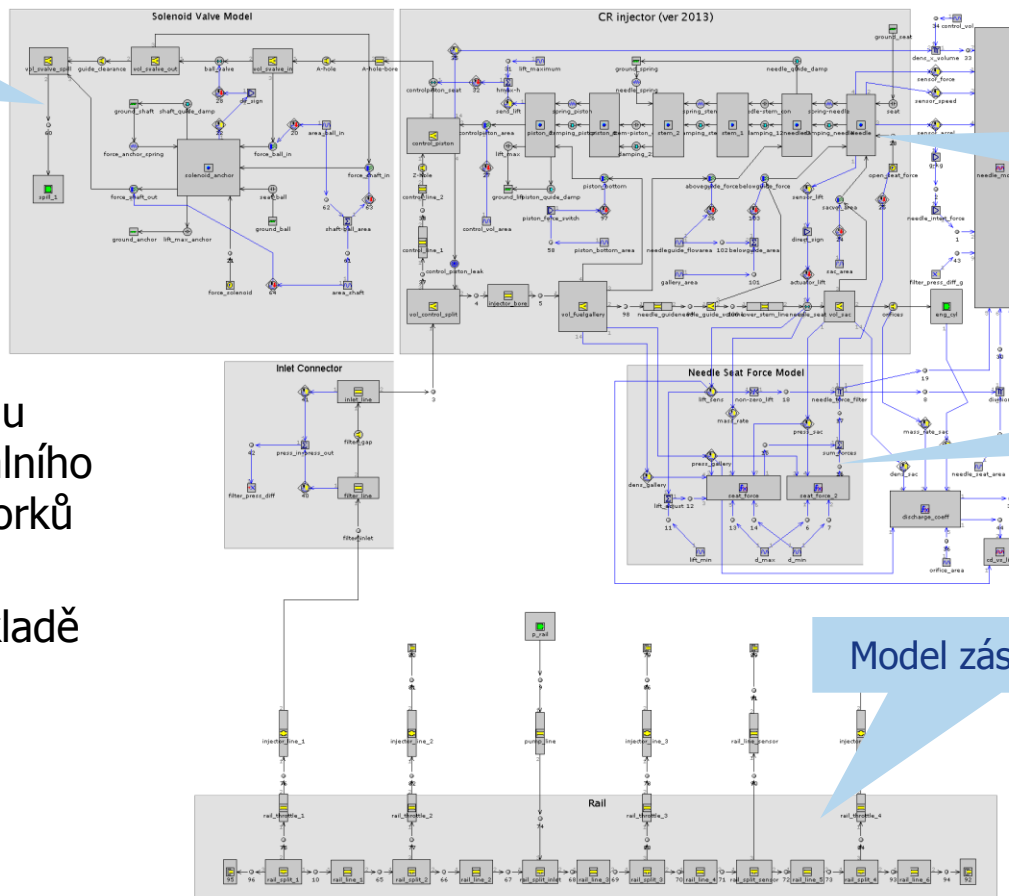


Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Validace modelu vstřikovače (ČVUT, Motorpal)

Model řídicího ventilu

Matematický model
vstřikovače CR
Motorpal



Model
tělesa
vstřikovače

Model
sedla jehly

Model zásobníku paliva

Postup prací:

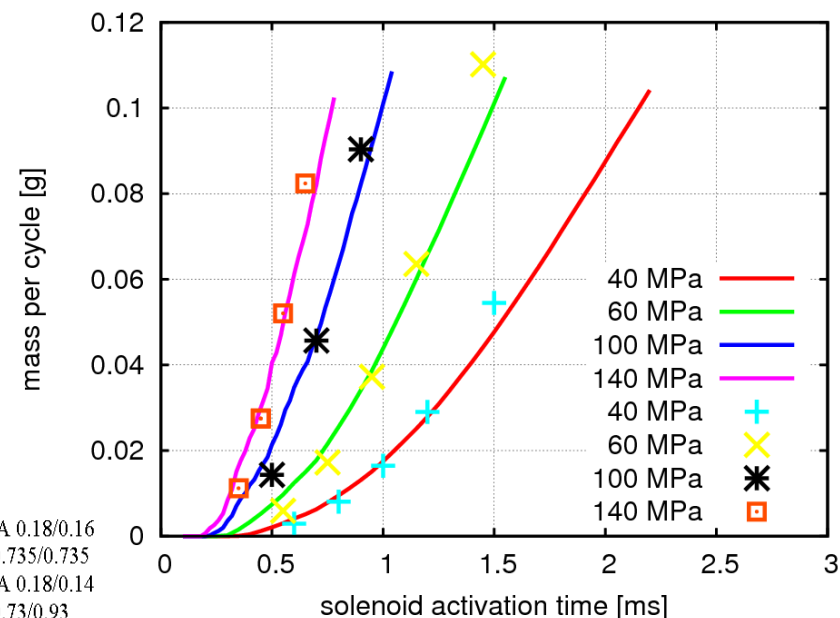
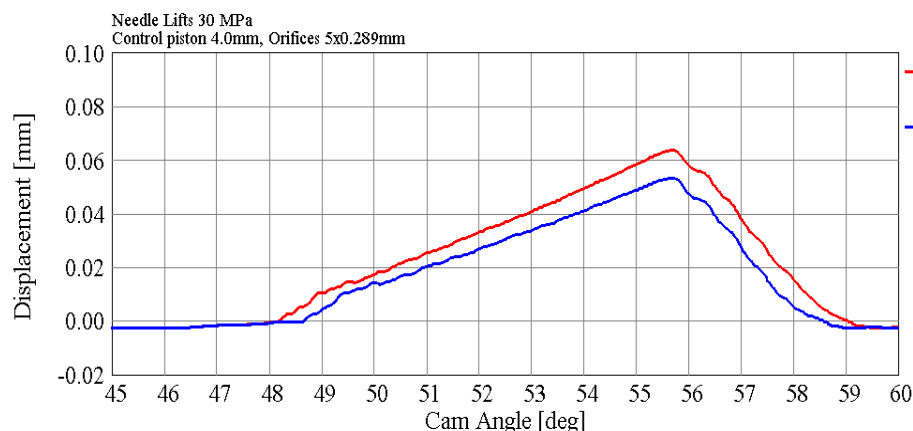
- Postupné úpravy modelu vstřikovače podle aktuálního provedení funkčních vzorků vstřikovače
- Validace modelu na základě výsledků měření
- Optimalizace návrhu vstřikovače na základě předpovědí modelu

Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Validace modelu vstřikovače (ČVUT, Motorpal)

Regulační charakteristika vstřikovače

srovnání naměřených dávek paliva (křivky) s výsledky matematického modelu (body) pro různé vstřikovací tlaky a časy aktivace řídicího elektromagnetického ventilu



Návrh dýz hydraulického servomechanismu jehly

Srovnání předpovědí zdvihu jehly pro dvě různá provedení průtočností dýz hydraulického servomechanismu

Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Popis výstupů a výsledků

WP09V003 VUT Píštěk – Specializovaný software pro vyhodnocení průběhu výstřiku paliva 12/2013

Realizována komora pro vizualizaci průběhu vstřiku paliva

Vytvořen software Evalin 1.0 pro kalibraci snímání, vizualizaci a vyhodnocení průběhu výstřiku paliva

WP09V004 MOTORPAL Báča, ČVUT Diviš – Výsledky matematických simulací a experimentů s konstrukcí vstřikovače navrženou pro vyhovění předpisům Stage4 12/2013

Vyrobeny funkční vzorky vstřikovače s kuličkovým řídícím ventilem

Testování a optimalizace funkčních vzorků vstřikovače a validace matematického model vstřikovače

WP09V006 TUL Scholz - Zkušební zařízení pro vstřikovače pro systémy CR 12/2014

Provedena úprava vstřikovače pro měření průtoku netěsnostmi a pro měření zdvihu jehly.

Výsledky prezentovány: Scholz, C. - Starý, P.: The issue of Common Rail injector leak testing. KOKA 2013

Popis plnění balíčku WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Návrh dalšího postupu včetně návrhů na spolupráci a realizaci výstupů

- **2013 – VUT, Motorpal – Zkušební zařízení pro vizualizaci vstříku. Software pro zpracování obrazového signálu** – cíle dosaženy, nadále bude probíhat:
 - realizace dalších ověřovacích měření v Motorpal,
 - aplikace software pro hodnocení výstříku pro verifikaci výpočtových modelů výstříku paliva a při vývoji nových systémů vstřikování paliva,
 - publikace výsledků.
- **2012 – 2014 TUL, Motorpal – Zkušební zařízení pro měření zdvihu jehly a průtoku netěsnostmi ve vstřikovači** bude probíhat:
 - realizace dalších měření ve spolupráci s Motorpal,
 - sjednocení časové osy zdvihu jehly se zdvihem elektromagnetického ventilu vstřikovače pro sledování vzájemných časových interakcí.
- **2013 – ČVUT, Motorpal – Validace modelu, optimalizace vstřikovače. Výroba a testování funkčních vzorků** – nadále bude probíhat:
 - měření s funkčními vzorky vstřikovačů pro validaci a případnou úpravu matematického modelu (průběhy zdvihu jehly, zákon výstříku, apod.)

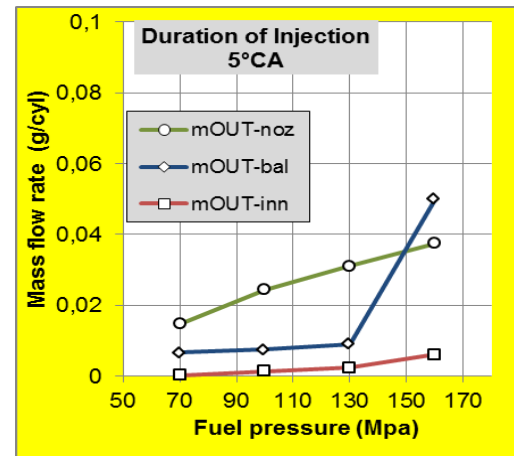
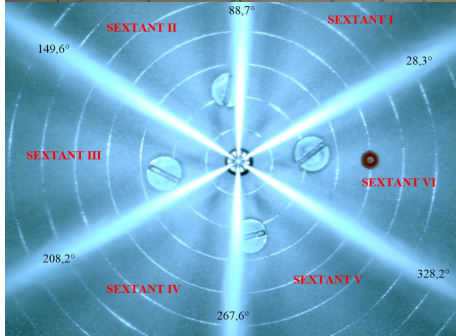
Výtah z provedených prací na WP09VaV Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Zkušební zařízení pro měření zdvihu jehly a průtoku netěsnostmi ve vstřikovači (TUL)

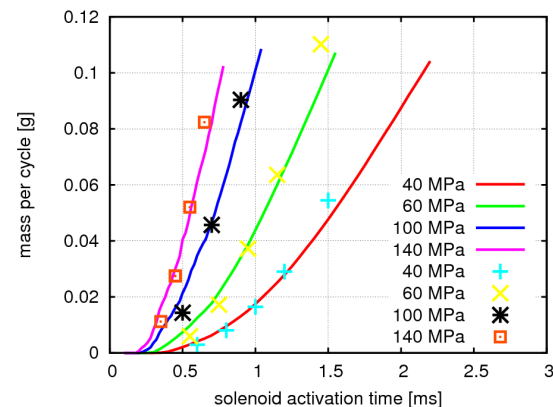


Zkušební zařízení pro vizualizaci vstřiku. Software pro zpracování obrazového signálu (VUT, Motorpal)

Výroba a testy funkčních vzorků vstřikovače Common Rail (Motorpal)



Validace modelu vstřikovače Common Rail (ČVUT)



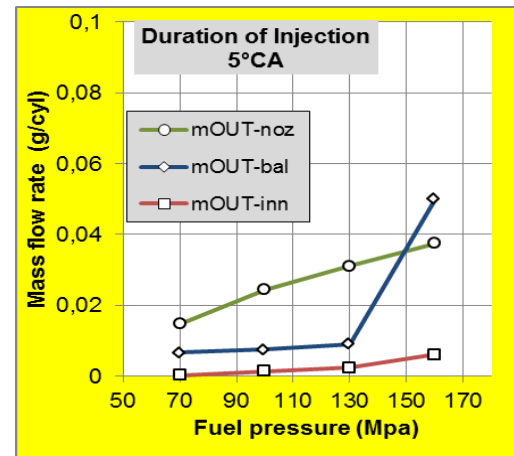
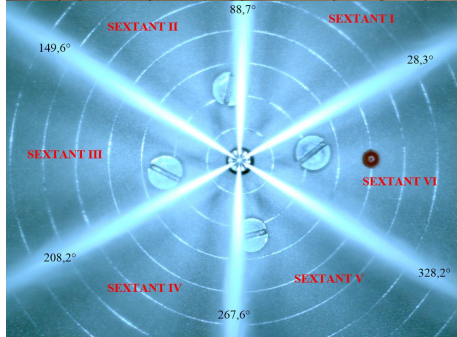
Abstract of WP09VaV Flexible fuel injection systems tailored to high-efficient low-polluting ICE

Needle lift and injector leak flow rate measuring systems (TUL)

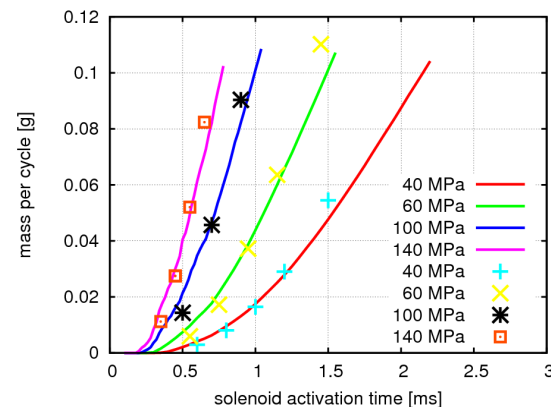


**Fuel spray visualization system.
Software for image acquisition
and post-processing (BTU,
Motorpal)**

**Design, fabrication
and testing of
Common Rail injector
(Motorpal)**



Common Rail injector model validation (CTU)



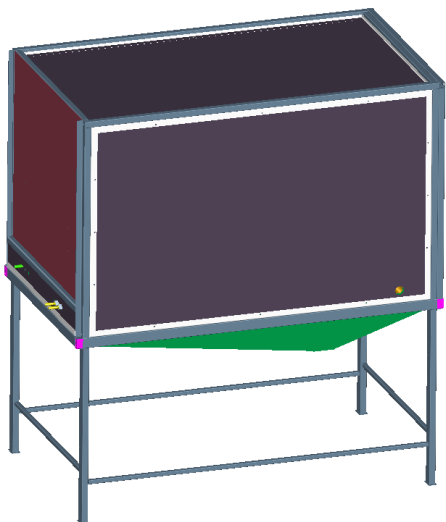
Popis obsahu balíčku WP09: Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Přílohy

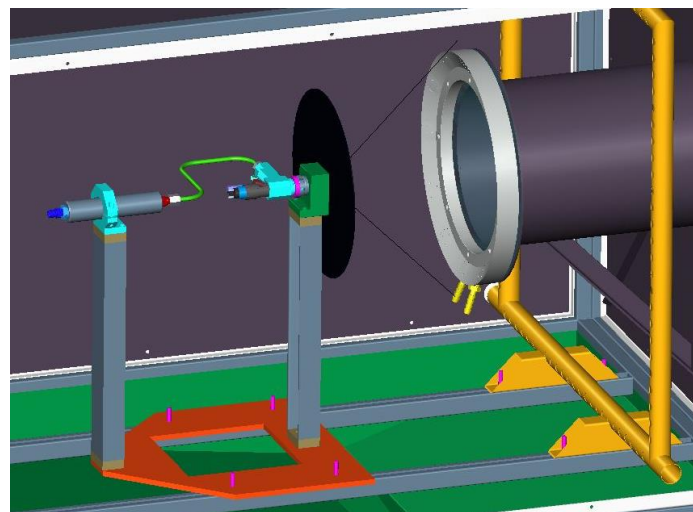
Popis obsahu balíčku WP09: Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Postup prací – návrh komory pro vizualizaci průběhu výstřiku (VUT v Brně, MOTORPAL, a.s.)

- komora byla navržena jako uzavřená skříň, připojená ke stanici s CR, rám byl svařen z profilů a zakryt plechem, byla vytvořena analýza výkonu osvětlení a teplotní analýza,
- v prostoru byl zřízen odtaž (pro zamezení vzniku výbušné atmosféry a mlhy),
- v komoře bylo nainstalováno osvětlení s chlazením, dostatečné pro expozice 1/10 000 s



Návrh komory – celkový pohled



Návrh komory – detail umístění snímacího tubusu

Popis obsahu balíčku WP09: Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Postup prací – stavba a instalace komory pro vizualizaci průběhu výstřiku (VUT v Brně, MOTORPAL, a.s.)

- komora byla sestavena dle návrhu, kamera je nainstalována na posuvném loži s možností změny horizontální roviny snímání,
- při měření byly sbírány informace pro dodatečná zlepšení,
- při testech bylo zjištěno, že je nutné zlepšit odvod a odtah paliva (kondenzace na průhledítku),
- po testech byla dodatečně nainstalována fotodioda indikující otevírací proud.



Měřicí komora

Popis obsahu balíčku WP09: Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi



Měřicí komora



Detail posuvného lože pro instalaci kamery

Popis obsahu balíčku WP09: Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Postup prací – měření a vyhodnocení výstřiku (MOTORPAL, a.s., VUT v Brně)

Identifikace klíčových parametrů a jejich vyhodnocení.

Prvotní analýza byla zaměřena na zhodnocení:

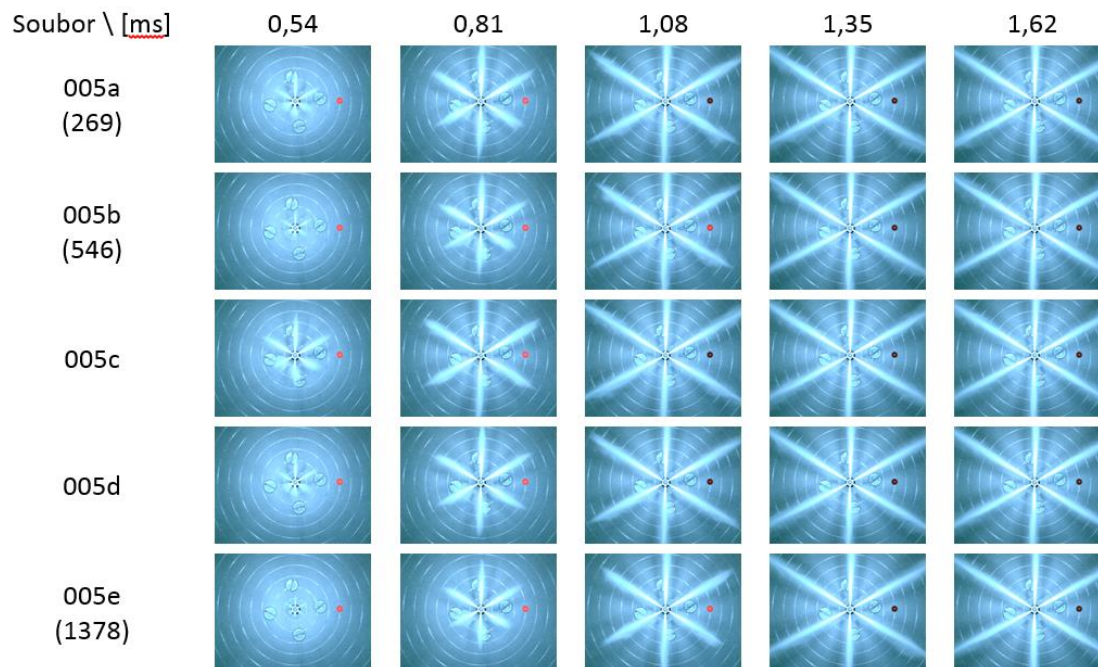
- Symetrie výstřiku (rovnoměrné rozložení 6 otvorů v trysce),
- Zhodnocení počátku (zahájení) výstřiku z jednotlivých otvorů trysky,
- Zpoždění zahájení výstřiku za otvíracím proudem,
- Zpoždění ukončení výstřiku za otvíracím proudem,
- Zhodnocení rychlosti záznamu (diference vzdálenosti paprsků mezi jednotlivými snímky),
- Zhodnocení průběhu rychlosti paprsků,
- Posouzení rovnoměrnosti hustoty aerosolu v jednotlivých paprscích,
- Dolet jednotlivých paprsků.

Po analýze bylo rozhodnuto o klíčových ukazatelích, které se budou zařazovat do připravovaného software (rychlost, symetrie, rovnoměrnost).

Popis obsahu balíčku WP09: Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Postup prací – měření a vyhodnocení výstřiku (VUT v Brně, MOTORPAL, a.s.)

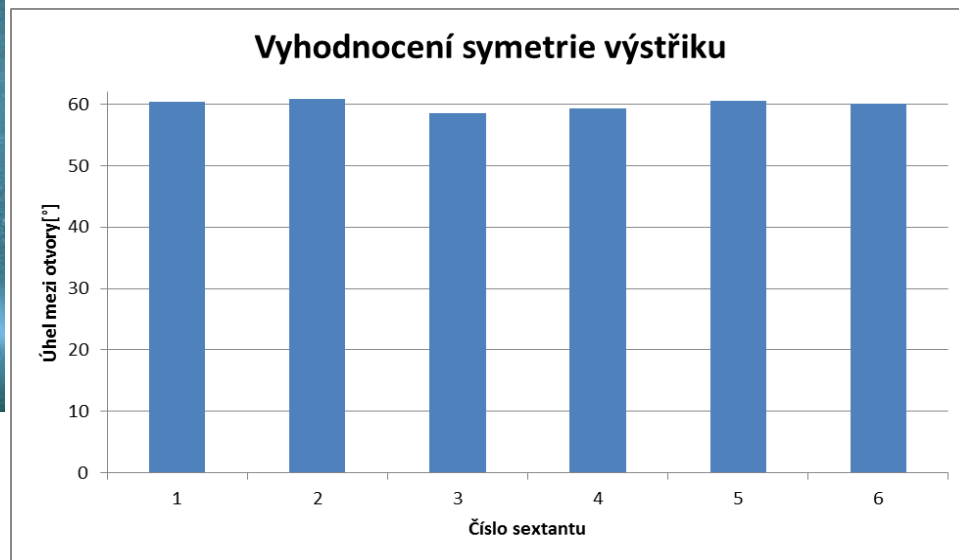
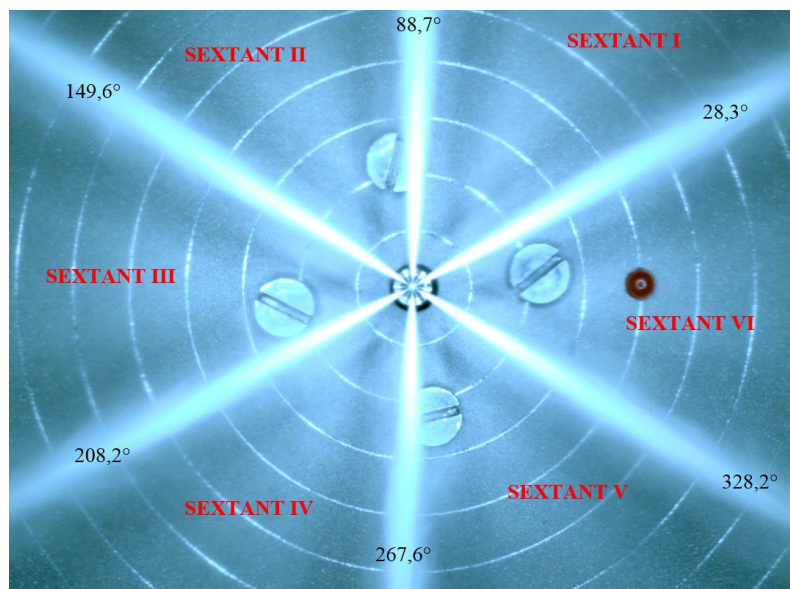
K měření byly využity vysokorychlostní kamery Olympus iSPEED 2 a Vision Research Phantom.
Při zachycování sady výstřiků byla stanovena minimální rychlost snímání 7 000 sn/s.



Příklad naměřených záznamů průběhu výstřiku paliva

Popis obsahu balíčku WP09: Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

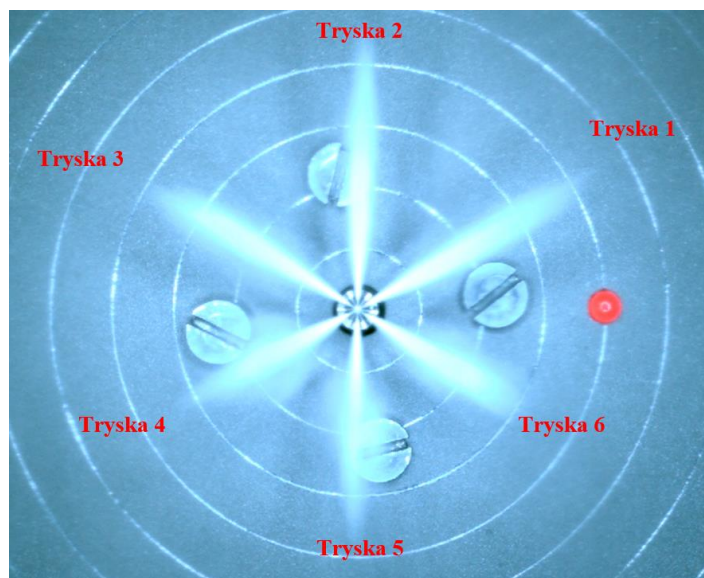
Postup prací – vyhodnocení symetrie výstřiku (VUT v Brně, MOTORPAL, a.s.)



Příklad vyhodnocení symetrie výstřiku paliva

Popis obsahu balíčku WP09: Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Postup prací – posouzení rovnoměrnosti v jednotlivých paprscích (VUT v Brně, MOTORPAL, a.s.)



Příklad vyhodnocení rovnoměrnosti v jednotlivých paprscích

Popis obsahu balíčku WP09: Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

Postup prací – vytvoření software pro hodnocení výstřiku (VUT v Brně, MOTORPAL, a.s.)

V roce 2013 byl vytvořen software Evalin 1.0. Základní vlastnosti jsou:

- kalibrace snímaného prostoru,
- hodnocení a vizualizace symetrie výstřiku paliva,
- hodnocení rychlosti výtoku z trysky,
- posouzení rovnoměrnosti výstřiku.

Software vyhodnocuje data získaná z proprietárního software Olympus iSPEED 2.

Popis obsahu balíčku WP09: Vstřikovací zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi

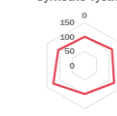
Postup prací – vytvoření software pro hodnocení výstřiku

EVALIN 1.0 - PŘEHLED VYHODNOCENÍ VÝSTŘIKU



Nastavení výstřiku

ZOBRAZIT NASTAVENÍ



Symetrie výstřiku

ZOBRAZIT SYMETRII VÝSTŘIKU



Rovnoměrnost hustoty

ZOBRAZIT ROVNOMĚRNOST HUSTOTY

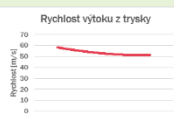
EVALIN 1.0 - Symetrie délký výstřiku

Symetrie průměrných výstřiku



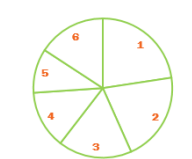
	Tryska 1	Tryska 2	Tryska 3	Tryska 4	Tryska 5	Tryska 6
Délka proudu 1 pixel	15	16	18	15	19	16
Délka proudu 2 pixel	15	18	18	15	19	16
Délka proudu 3 pixel	15	16	18	15	19	16
Průměrná délka proudu %	100,0	111,1	120,0	100,0	126,7	106,7

Rychlost výstoku z trysky



	Snímek 1	Snímek 2	Snímek 3	Snímek 4
Poloha konce proudu				
Čas ms	0	0,1	0,2	0,3
Šířka pixel	500	600	690	776
Výška pixel	360	420	475	530
Rychlost výstoku m/s	58,3	52,7	51,0	
Průměrná rychlost výstoku m/s	54,0			

EVALIN 1.0 - Posouzení rovnoměrnosti výstřiku



ROVNOMĚRNOST VÝSTŘIKU

	Tryska 1	Tryska 2	Tryska 3	Tryska 4	Tryska 5	Tryska 6
Pozice - šířka pixel	700	600	400	300	400	600
Pozice - výška pixel	360	500	500	150	150	120
Rovnoměrnost výsečí %	135,6	124,3	102,9	80,8	61,4	94,9

EVALIN 1.0 - NASTAVENÍ SNÍMÁNÍ

PARAMETRY TRYSKY

Počet trysek	6
Úhel výstoku na trysku	60°
Tlak v systému	50 MPa
Útlaková stanice	400 min ⁻¹

PARAMETRY MĚŘENÍ

Snímkovací frekvence	10000 sn/s
Rozlišení záznamu - šířka	1024 pixel
Rozlišení záznamu - výška	768 pixel

KALIBRACE

Délka kalibračního úseku	10 mm
Průměr gule kalibračního úseku	200 pixel
Kalibrační koeficient	20 pixel/mm
Umožnění sítě - šířka	500 pixel
Umožnění sítě - výška	360 pixel



Okna software EVALIN 1.0