



Popis obsahu balíčku WP02 Pokročilé systémy pro přípravu směsi a spalování připravené směsi s vysokou účinností a nízkou emisí škodlivin

Vedoucí konsorcia podílející se na pracovním balíčku

České vysoké učení technické v Praze, zodpov. osoba Ing. Jiří Vávra, Ph.D.

Členové konsorcia podílející se na pracovním balíčku

od 2015 pouze ČVUT v Praze

Hlavní cíl balíčku a jeho plnění za dobu projektu

Balíček je součástí strategického aplikovaného výzkumu pokročilých spalovacích systémů pro efektivní spalování extrémně zředěné směsi. Extrémní zředění směsi povede na nízkou teplotu pracovní látky s výrazně sníženou emisí oxidů dusíku.

Experimentálně demonstrováno **7% snížení spotřeby** paliva v nízkém zatížení oproti konvenčnímu plynovému zážehovému motoru při emisích **NOx pod úrovní emisního limitu EU6 v surových spalinách**. Využití výsledků při experimentálním vývoji ve WP 10 a WP 11. V přípravě spolupráce s průmyslovými partnery.



Plnění cílů, milníků a výstupů, splněné výsledky balíčku WP02

Plnění cílů

Ve spolupráci s WP04 rozběhlá obousměrná výměna dat mezi experimenty a CFD simulacemi. Probíhají optimalizace motoru s vyplachovanou předkomůrkou.

Probíhá spolupráce s dodavatelem výpočetního software Gamma Technologies Inc. – v Gammě připravují model vyplachované komůrky pro V2018.

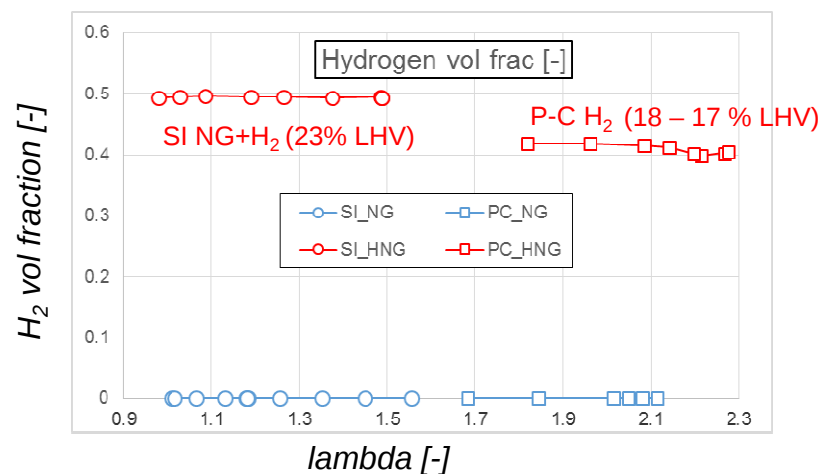
V roce 2017 proběhly na motoru G432 s vyplachovanou předkomůrkou experimenty:

Vlivu teploty směsi v sání do 160°C pro posunutí chudé meze zápalnosti	☹️
Vliv rozvíření směsi zakrytím sacích kanálů (tři kombinace)	☹️
Testován přívod vodíku do komůrky -> výrazné zvýšení účinnosti při NOx v surových spalínách pod limitem EU6	😊

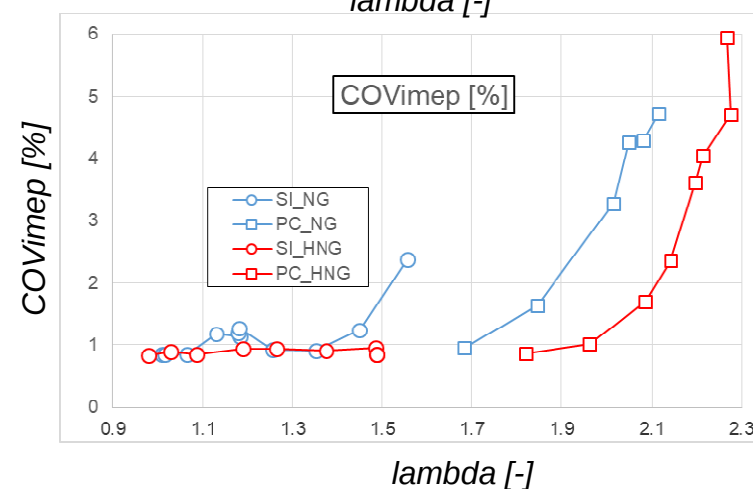
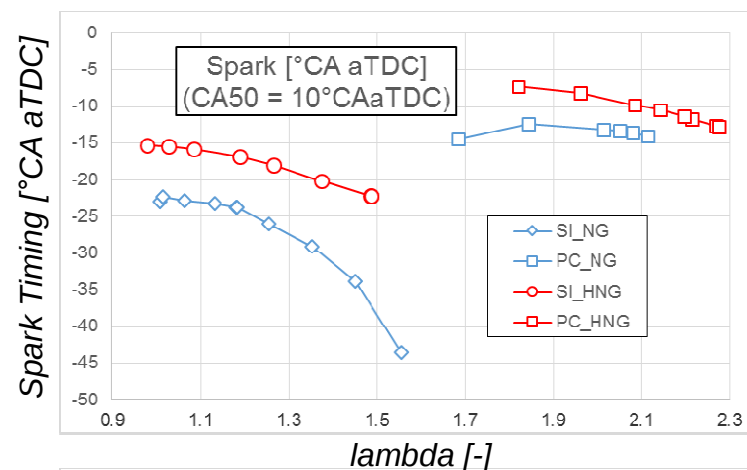


Popis plnění balíčku WP02

Porovnání komůrkového a konvenčního zážehového motoru, zemní plyn + vodík
otáčky 1800 1/min, IMEP 3.8 bar



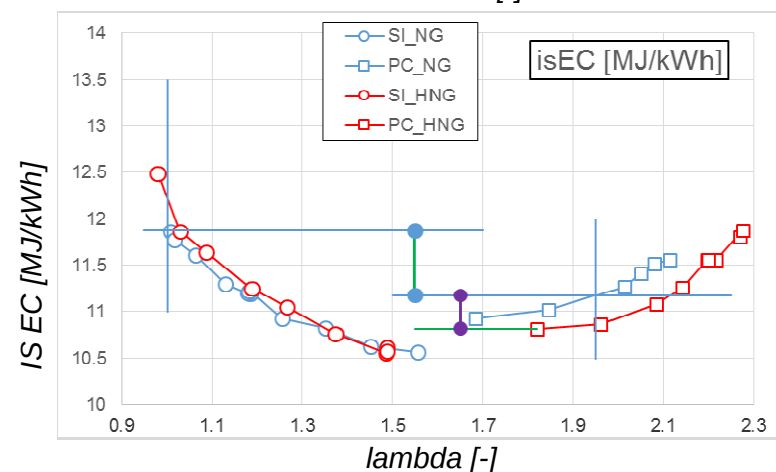
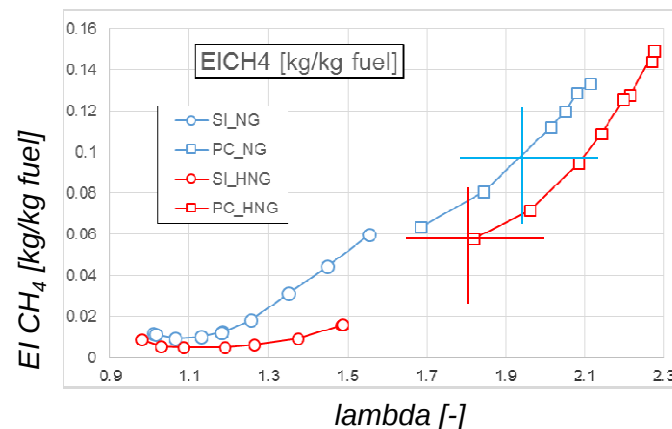
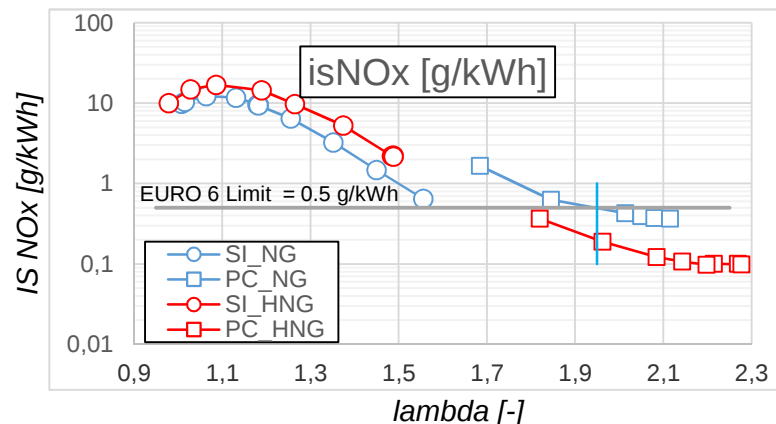
- Až 18 % přívodu energie ve vodíku přivedeném do předkomůrky
- Pozorovány předzápaly pro vodíkem plněnou komůrku při λ blízké 1
- přidavek H_2 v každém případě zvyšuje rychlost hoření





Popis plnění balíčku WP02

Porovnání komůrkového a konvenčního zážehového motoru, zemní plyn + vodík
otáčky 1800 1/min, IMEP 3.8 bar

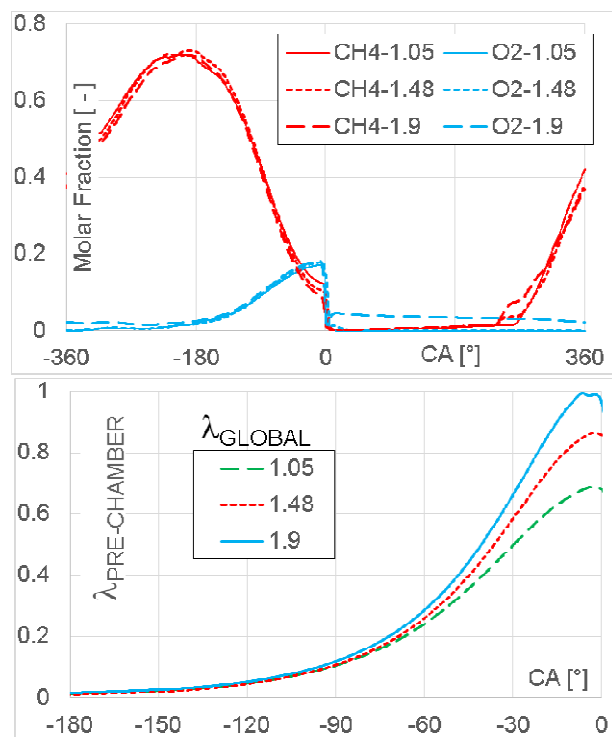


- S předkomůrkou lze vyhovět limitu EU6 NOx bez dodatečné úpravy spalín
- Vodíkem vyplachovaná komůrka vykazuje další snížení emise NOx (i když maximální teplota oběhu roste)
- Předkomůrkový motor s chudou směsí vykazuje lepší účinnost než stechiometrický zážehový
- Použití vodíku do předkomůrky dále zlepšuje účinnost a snižuje obsah nespáleného metanu v surových spalínách



Popis plnění balíčku WP02

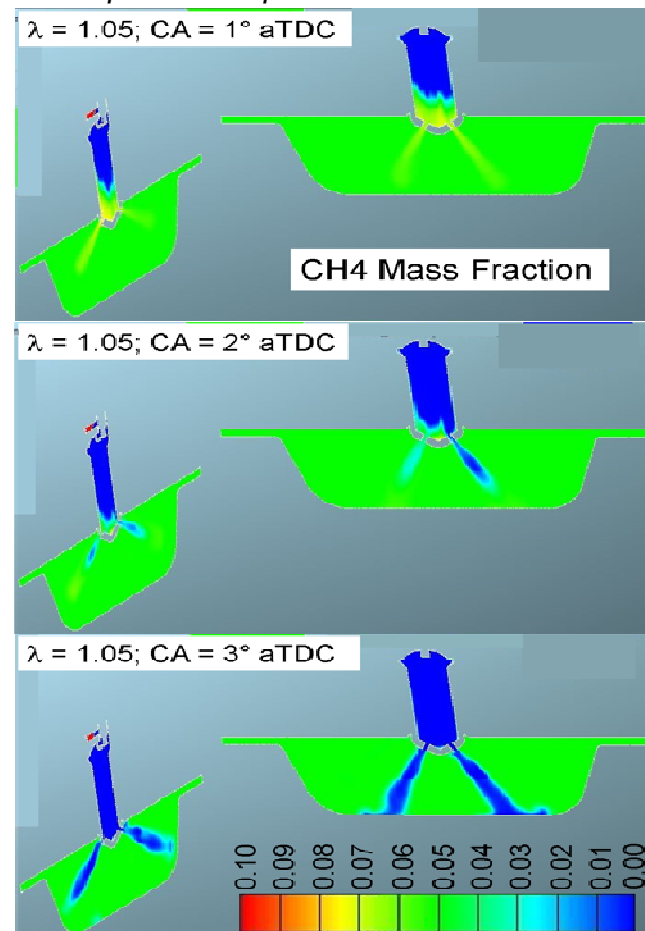
Poznatky z CFD simulací



Průběh molárních zlomků CH₄ a O₂ během pracovního cyklu

Průběh součinitele přebytku vzduchu během kompresního zdvihu

Šíření plamene v první fázi hoření





Plnění cílů, milníků a výstupů, splněné výsledky balíčku WP02

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

WP02V005: Směrnice pro využití alternativních paliv, zejména obnovitelných, perspektivních pro motory s vyplachovanou komůrkou 1 * R - software;

WP02V006: Obecné směrnice pro konstrukci a seřízení motoru spalujícího extrémně chudou směs s vysokou účinností a minimální produkcí oxidů dusíku 1 * G - technicky realizované výsledky - prototyp, funkční vzorek;

WP02V007 Hodnocení zážehových motorů s vyplachovanou komůrkou. 1 * X – jiné



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka

- AutoSympo a Kolokvium Božek 31. 10. až 2. 11. 2017, Roztoky -



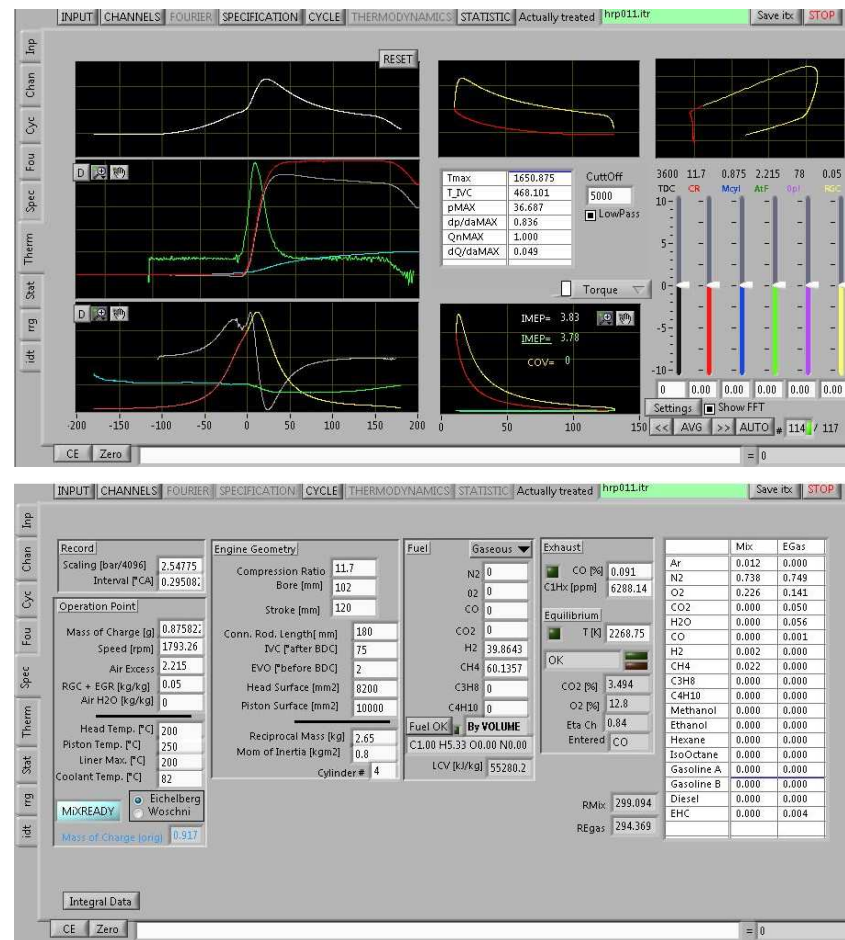
Plnění cílů, milníků a výstupů, splněné výsledky balíčku WP02

WP02V005: Směrnice pro využití alternativních paliv, zejména obnovitelných, perspektivních pro motory s vyplachovanou komůrkou 1 * R - software;

INTEQv2017

Programové vybavení pro vyhodnocování záznamu průběhu tlaku ve válci.

Verze 2017 umožňuje zadání max. 20-ti sloupců s údaji spotřeby paliva ve vstupním souboru s integrálními daty. Pro každý provozní režim se spočítá složení palivové směsi jako vstup pro výpočet termodynamických vlastností pracovní látky.





Plnění cílů, milníků a výstupů, splněné výsledky balíčku WP02

WP02V006: Obecné směrnice pro konstrukci a seřízení motoru spalujícího extrémně chudou směs s vysokou účinností a minimální produkcí oxidů dusíku 1 * G - technicky realizované výsledky - prototyp, funkční vzorek;

Byla provedena konstrukce pro několik motorů různých velikostí s variantami komůrek z hlediska vyplachování. Byl vyroben finální funkční vzorek komůrky využívající sériové komponenty a odzkoušen na motoru AVIA Daewoo - funkčním vzorku plnorozměrového komůrkového plynového přeplňovaného motoru G432PC a palivového příslušenství pro provoz na více plyných paliv.

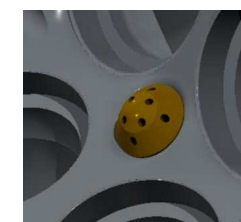
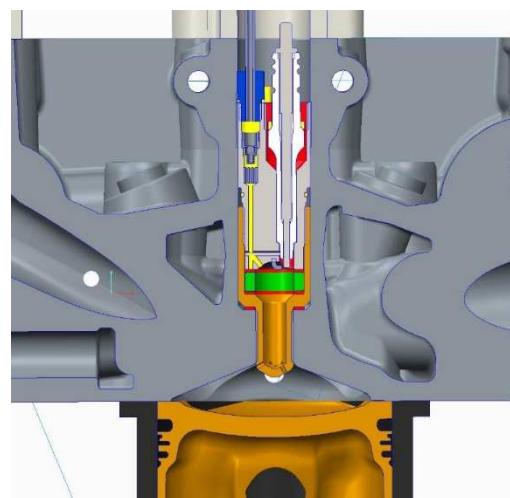
Finální varianta vyplachované předkomůrky



Využití sériové zapalovací svíčky



CAD návrh zástavby komůrky ČVUT do motoru ŠKODA





Plnění cílů, milníků a výstupů, splněné výsledky balíčku WP02

WP02V007 Hodnocení zážehových motorů s vyplachovanou komůrkou. 1 * X – jiné

Syrovátka, Z., Takáts, M., and Vávra, J., "Analysis of Scavenged Pre-Chamber for Light Duty Truck Gas Engine," SAE Technical Paper 2017-24-0095, 2017, doi:10.4271/2017-24-0095.

J. Vávra, M. Takáts, Z. Syrovátka., Efficient use of hydrogen in a combustion engine, The 7th World Hydrogen Technology Convention, Prague, 2017.

J. Vávra, M. Takáts, Z. Syrovátka, O. Vítek, Gas Engine with Hydrogen Scavenged Pre-chamber, 3rd General Meeting and Workshop on SECs in Industry, Prague October, 25th – 27th – 2017, COST Action 1404 Chemistry of Smart Energy Carriers and Technologies

7.7.2017 u ÚPV podána patentová přihláška, další v přípravě u patentového zástupce



Zhodnocení dopadu výsledků balíčku WP02

Celkové zhodnocení dopadu výsledků a jejich průběžná i budoucí realizace

- Realizován funkční vzorek motoru s vyplachovanou předkomůrkou
- Databáze naměřených hodnot – obousměrné sdílení výsledků mezi WP02 a WP04
- Komůrkové zapalování prokázalo schopnost zlepšení účinnosti zážehového motoru v nízkých zatíženích při udržení emise NOx v limitu EU6 bez dodatečné úpravy spalin
- Prokázala se též schopnost práce komůrkového motoru při spalování stechiometrické směsi při plném výkonu atmosférického motoru

Pokračování

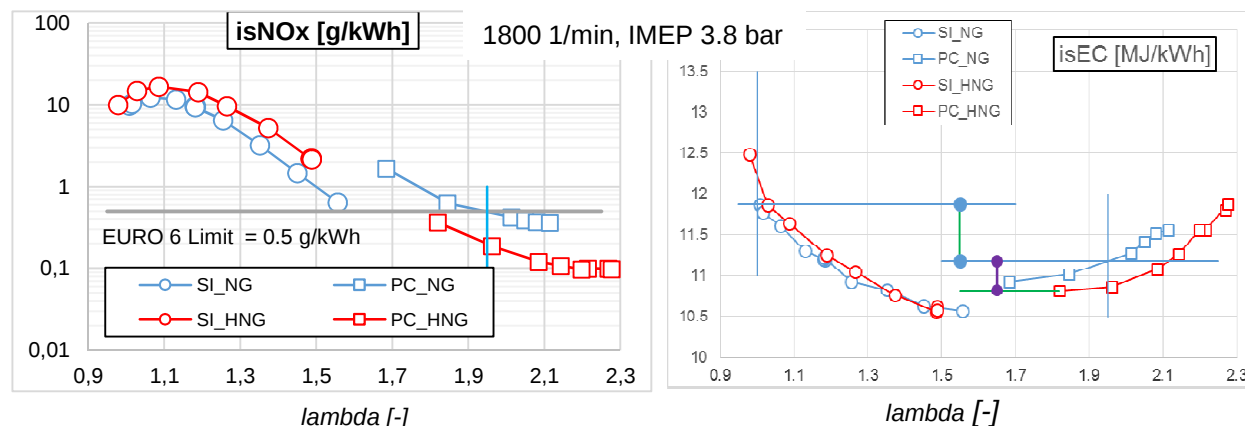
- INOVAFond GAMA – transfer poznatků na automobilní motor
- Jednání s konstrukcí ŠKODA AUTO, proběhla jednání o spolupráci s významným zahraničním partnerem
- Pokusíme se překonat „the valley of death“ a projekt implementovat v praxi



Výtah z provedených prací 2012 - 2017 na WP02 Pokročilé systémy pro přípravu směsi a spalování připravené směsi s vysokou účinností a nízkou emisí škodlivin

Plnorozměrový plynový motor G432 s vyplachovanou zapalovací předkomůrkou (4 x $\phi 102/120$ mm, CNG + H₂)

4 x předkomůrka s přívodem paliva a zapalovací svíčkou



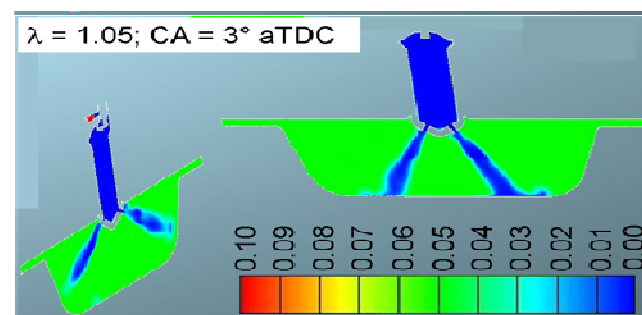
Vyplachovaná komůrka přináší:

- **emise NOx** v surových spalínách **v nízkém zatížení pod limitem EU6**, široký rozsah přebytku vzduchu ($1 \leq \lambda \leq 2.2$)
- spalování extrémně chudé směsi vede až k **7% snížení spotřeby paliva** v porovnání s konvenčním spalováním stechiometrické směsi



CFD Simulace - WP04 – Popis vyplachování komůrky a průběhu hoření

Šíření plamene v první fázi hoření

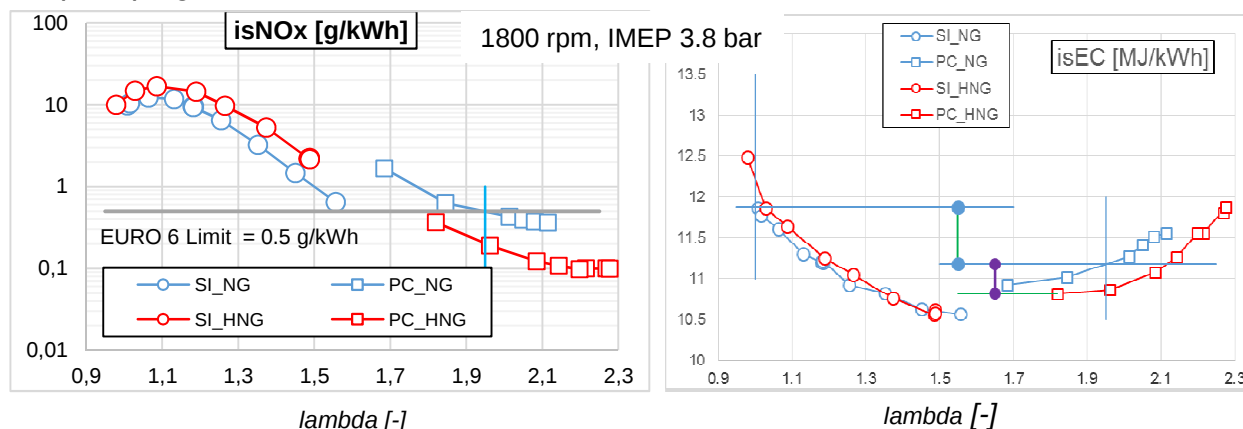
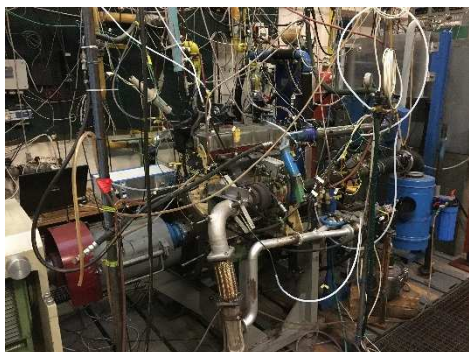




Abstract of 2012 - 2015 of WP02 Advanced Systems Mixture Preparation and Premixed Combustion for High Efficiency and Favorable Emissions of Pollutants

Full size G432 engine with a scavenged pre-chamber (4 x $\phi 102/120$ mm, CNG, H_2)

Pre-chamber with a gaseous fuel delivery and spark plug



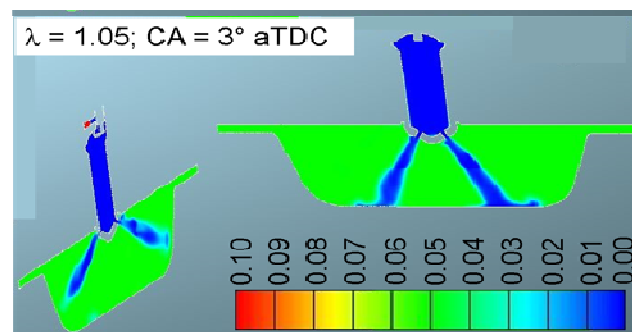
Scavenged pre-chamber features:

- NOx in raw exhaust gas **under EU6 limit** in **low load** operation, wide range of air excess ratio ($1 \leq \lambda \leq 2.2$)
- extremely lean combustion in low load results in **7% fuel consumption reduction** compared to the conventional SI stoichiometric homogeneous mixture combustion



WP04 – CFD Simulations of pre-chamber scavenging and combustion

Flame development at early stage of combustion





Výtah z provedených prací 2017 na WP02 Pokročilé systémy pro přípravu směsi a spalování připravené směsi s vysokou účinností a nízkou emisí škodlivin

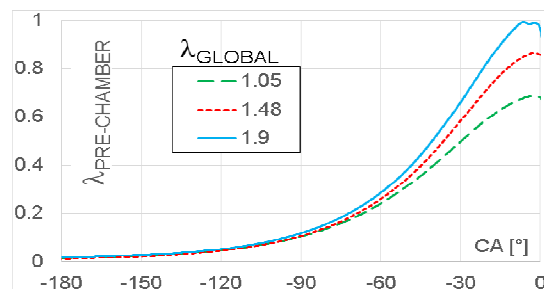
Finální varianta vyplachované předkomůrky



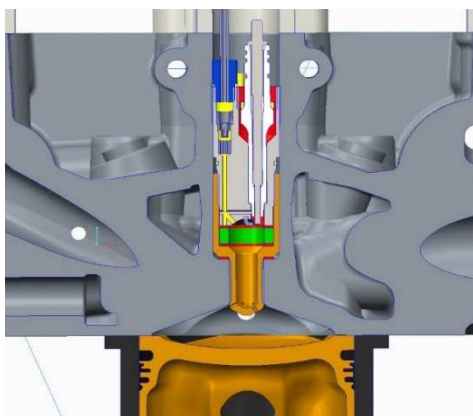
Využití sériové
zapalovací svíčky



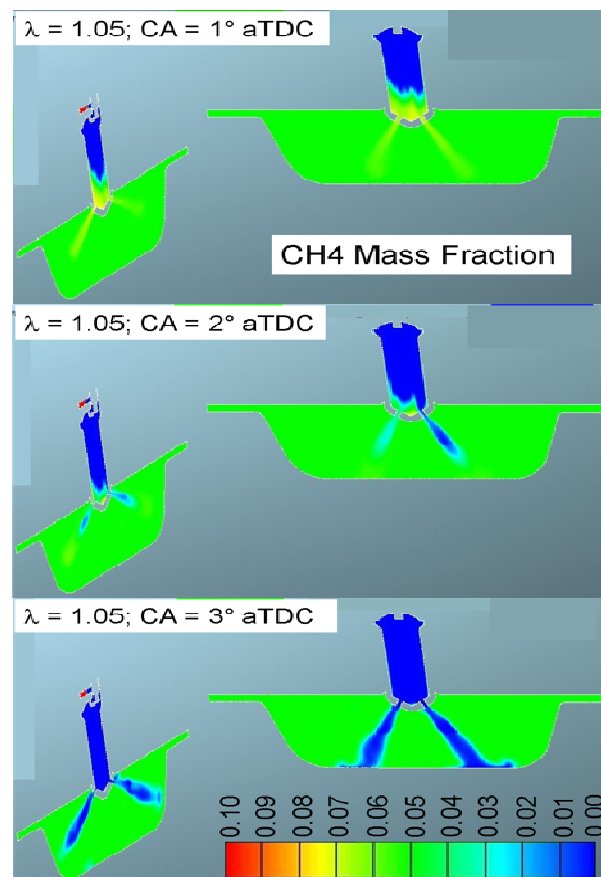
Průběh součinitele
přebytku vzduchu v kompresním zdvihu



Předběžný CAD návrh zástavby komůrky ČVUT do malého plynového automobilového motoru



Poznátky z CFD simulací
Šíření plamene v první fázi hoření





Výtah z provedených prací 2017 na WP02 Pokročilé systémy pro přípravu směsi a spalování připravené směsi s vysokou účinností a nízkou emisí škodlivin

Final version of scavenged pre-chamber

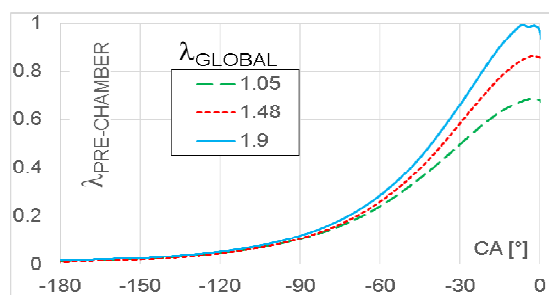


Use of serial spark plug

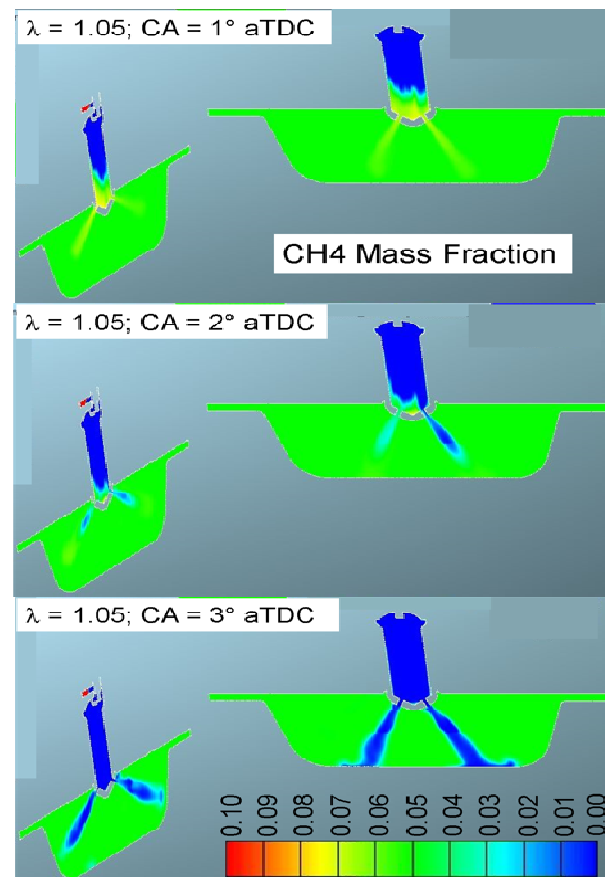


CFD simulations results

Air-excess ratio development in the compression stroke



Flame propagation



Preliminary CAD model of the installation of the CTU pre-chamber into small automotive engine

