

Popis obsahu balíčku Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Vedoucí konsorcia podílející se na pracovním balíčku

Ricardo Prague s.r.o., zodpovědná osoba B. Hnilička

Členové konsorcia podílející se na pracovním balíčku

České vysoké učení technické v Praze – Z. Šika; TÜV SÜD Czech s.r.o. – R. Vacek;
MOTORPAL, a.s. – K. Báča; Honeywell, spol. s r.o. – J. Pekař

Hlavní cíl balíčku

1. Vyvinout modulární unifikovanou řídicí strategii pro vznětové (CI), zážehové (SI) a hybridní pohonné systémy
2. Vyvinout nové procesy a softwarové nástroje pro návrh optimálních / adaptivních / prediktivních / robustních strategií, založených na modelech řízení soustavy.

Dílčí cíle balíčku pro nejbližší období

Vývoj WAVE/WAVE-RT modelů, komponent řídicí strategie, plánování experimentů, algoritmů numerické optimalizace, prediktivního řízení (dosažení 6/2015).

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Popis výstupů a výsledků

2012 – 12/2013:

Koncept architektury modulární řídicí strategie a specifikace systémových požadavků. [1-5]

2014 – 06/2015:

Experimenty s řízením spalovacích motorů pro minimalizaci spotřeby paliva. [2, 3]

Nástroj pro robustní a prediktivní řízení nelineárních subsystémů spalovacího motoru v reálném čase. [2]

Základní unifikovaná řídicí strategie pro vznětové spalovací motory. [4]

Základní řídicí strategie vzduchové cesty pro zážehové motory. [5]

Základní unifikovaná řídicí strategie pro vznětové a zážehové spalovací motory a relevantní experimentální data. [1, 3]

WAVE a WAVE-RT modely a relevantní experimentální data. [1, 3]

2015 – 2017:

Nástroj plánování experimentů a identifikačních algoritmů pro rychlé vytváření nelineárních prediktivních a simulačních modelů. [2]

Integrovaný návrh řídicích systémů pro přepínávané zážehové motory. [5]

Funkční prototyp ECU pro vznětový motor. [4]

Unifikovaná řídicí strategie pro dieselové motory, optimalizovaný SW pro řízení a komunikaci s přídatnými zařízeními na dodatečnou úpravu výfukových zplodin. [4]

Základní řídicí strategie pro vznětové, zážehové a hybridní pohonné systémy a relevantní experimentální data. [1, 2, 3]

Unifikovaný proces a nástroje pro návrh integrovaných optimálních řídicích strategií pro spalovací motory. [1-5]

Zobecněná metodika pro implementaci pokročilých řídicích algoritmů do „embedded“ aplikací. [1-5]

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Aktuální výstupy

Pro tento rok nejsou plánovány žádné výstupy

Dílčí Milníky balíčku pro nejbližší období

WP20M01: SW nástroj pro nelineární robustní a prediktivní řízení [2]. Základní unifikovaná řídicí strategie pro SI and CI engines [1,3]. WAVE modely [1,3]. Pokročilé řízení pro SI engines [5]. Základní unifikovaná řídicí strategie pro CI engines [4]. Experimenty s řízením spalovacích motorů pro minimalizaci spotřeby paliva [2,3] – dosažení 6/2015

Dílčí cíle balíčku pro nejbližší období

WP20C04: Základní unifikovaná řídicí strategie pro vznětové a zážehové spalovací motory. [1,3] – dosažení 6/2015

WP20C03: WAVE a WAVE-RT modely. [1,3] – dosažení 6/2015

WP20C02: Základní řídicí strategie vzduchové cesty pro zážehové motory. [5] – dosažení 6/2015

WP20C06: Pokročilé koncepty robustního a prediktivního řízení nelineárních subsystémů spalovacího motoru. [2] – dosažení 6/2015

WP20C05: Komplexní realizace pokročilého řízení spalovacího motoru pro minimalizaci spotřeby paliva. [2,3] – dosažení 6/2015

WP20C07: Otestování základní řídicí strategie na zkušební stanici. [4] – dosažení 12/2015

Dílčí výstupy balíčku pro nejbližší období

WP20V007: Modely robustního a prediktivního řízení nelineárních subsystémů spalovacích motorů [2] – dosažení 6/2015

WP20V006: Experimenty s řízením spalovacích motorů pro minimalizaci spotřeby paliva [2,3] – dosažení 6/2015

WP20V005: Základní unifikovaná řídicí strategie pro vznětové a zážehové spalovací motory [1] – dosažení 6/2015

WP20V004: WAVE a WAVE-RT modely [1,3] – dosažení 6/2015

WP20V003: Základní řídicí strategie vzduchové cesty pro zážehové motory [5] – dosažení 6/2015

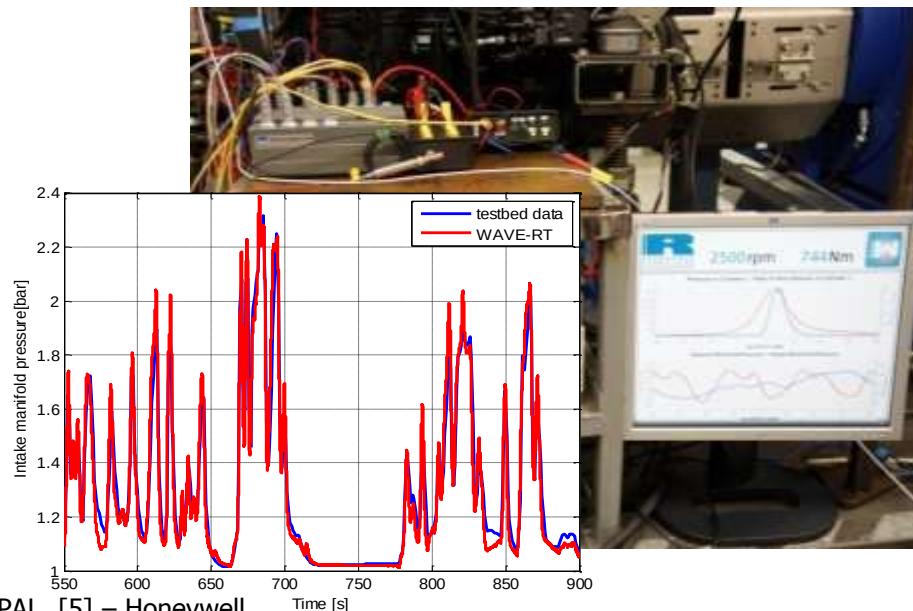
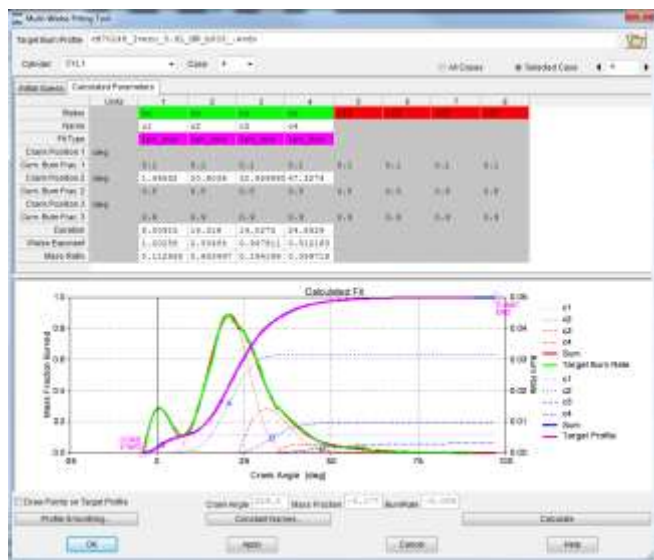
WP20V002: Základní unifikovaná řídicí strategie pro vznětové spalovací motory [4] – dosažení 6/2015

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

WP20A04: Vývoj komponent řídicí strategie a WAVE modelů a implementace do ECU [1, 3]

- Vytvořen WAVE a WAVE-RT model IVECO motoru.
- Implementován WAVE-RT model do rCube2 a ověřen na zkušebně s aktuální řídicí strategií.
- Vytvořen WAVE a WAVE-RT model IVECO motoru s oddělením dávek a časování jednotlivých válců a parametrizací hoření pomocí Multi-Wiebe přístupu.
- Implementován WAVE-RT model s oddělením dávek a časování jednotlivých válců a parametrizací hoření pomocí Multi-Wiebe přístupu do rCube2. Ověřen na zkušebně s řídicí strategií.
- Proběhl test paralelního souběhu WAVE-RT modelu v rCube2 a reálného motoru během WHTC cyklu na zkušebně.
- Probíhá testování využití výstupů z WAVE-RT pro zpětnovazební řízení v řídicí strategii na zkušebně.



Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

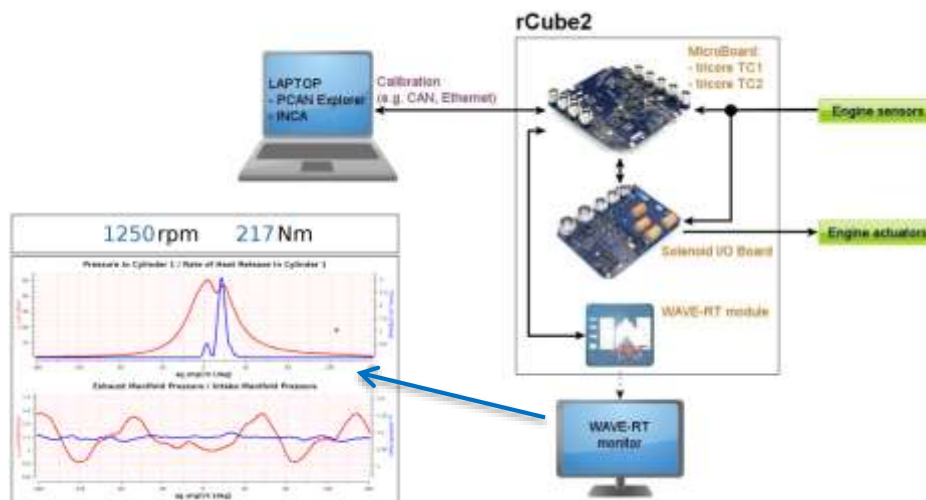
Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

WP20A09: Výzkum a vývoj prediktivního a robustního řízení nelineárních subsystémů spalovacího motoru [2]

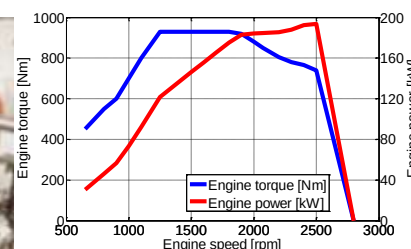
- Probíhá výzkum vhodných metod pred. a robustního řízení a výzkum metod kvadratického programování.

WP20A10: Testování a validace řídicích algoritmů na HiL a zkušební stanici. [1, 3]

- Ukončeno testování strategie řízení pro IVECO motor s původním WG turbem na zkušebně.
- Ukončeno testování strategie řízení pro IVECO motor s VGT turbem na zkušebně (Turbo dodáno v rámci spolupráce s balíčkem WP06 firmou Honeywell Turbo technologies).
- Probíhá testování strategie řízení pro IVECO motor s VGT turbem se zpětnou vazbou z WAVE-RT modelu na zkušebně.
- Probíhá testování řídicích algoritmů pro ŠKODA 1.4 TSI motor za pomoci MiL.



IVECO engine with VGT



Type: F4AE0682C – turbocharger diesel with intercooler
 Max. power: 194 kW / 2500 rpm
 Max. torque: 930 Nm
 Number of cylinders: 6 cylinders, inline
 Stroke volume: 5.9 litre
 Fuel injection system: HPCR electronic (Common Rail)
 VGT (instead of the original wastegate) for advanced ECU implementation

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

WP20A05: Vývoj komponent modelu řízení naftového motoru s implementací v prostředí MATLAB [4]

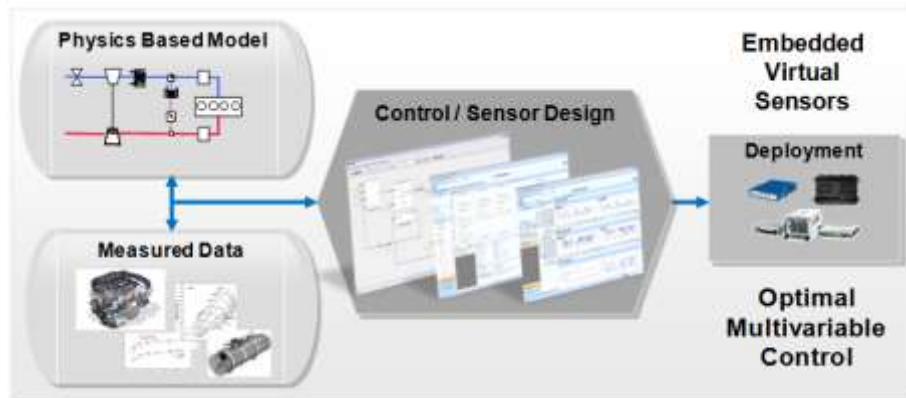
– Probíhá reálné testování řídicí strategie prostřednictvím vyvinuté řídicí jednotky na motoru Zetor v testovací stanici firmy Motorpal.

WP20A06: Algoritmy num. optimalizace vhodných pro implementaci prediktivních regulátorů do ECU [5]

– Probíhá vývoj numerických algoritmů vhodných pro implementaci MPC regulátorů v prostředí ECU. Zaměření vývoje je na semi-explicitní řešení úlohy parametrického kvadratického programování.

WP20A07: Vývoj numerických algoritmů pro identifikaci komponent modelu a modelu jako celku [5]

– Probíhá vývoj algoritmů pro optimalizaci a identifikaci, včetně začlenění těchto nástrojů do jednoho SW balíku, tzv. OnRAMP Control Design.



WP20A08: Vývoj komponent modelu přepř. zážehového motoru s implementací v prostředí MATLAB [5]

- Probíhá vývoj knihovny nelineárních bloků pro použití v OnRAMP Design Suite pro návrh MPC regulátoru.
- Probíhá validace / testování přesnosti modelu zážehového motoru.
- Probíhá specifikace problému řízení vzduchové cesty pro přepř. zážehové motory.

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

WP20A11: Vývoj adaptivních kalibračních algoritmů. [1, 3]

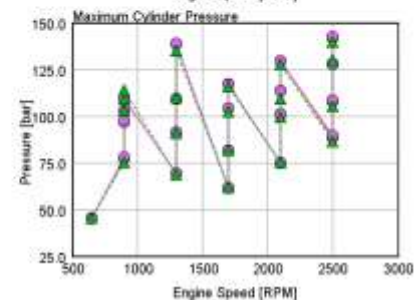
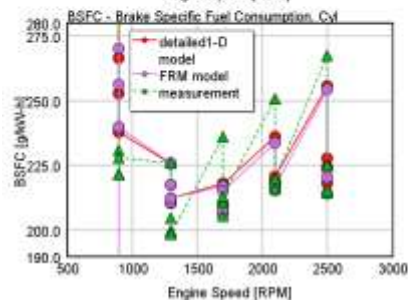
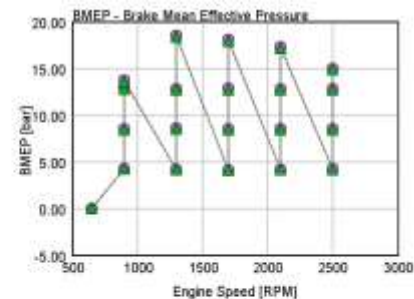
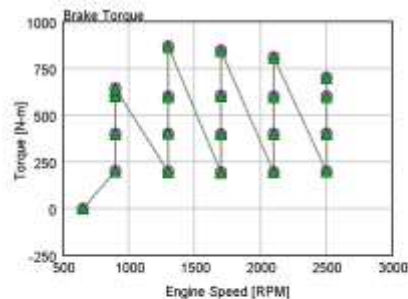
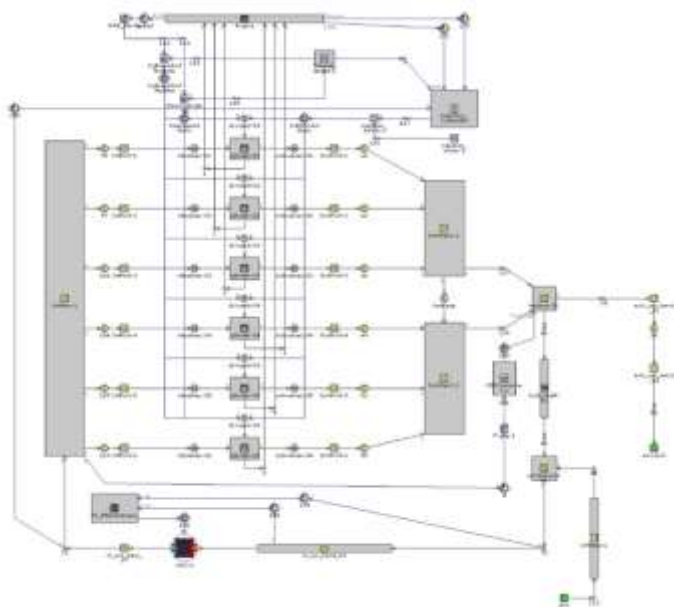
– Probíhá vývoj algoritmů pro automatickou kalibraci pomocí modelů WAVE a naměřených dat.

WP20A12: Výzkum a vývoj strategií řízení motoru s komplexní strukturou a koordinace řídicích smyček [2]

– Probíhá testování řídicí strategie s MPC pro motor IVECO v MiL za pomoci kosimulace modelu motoru v programu GT Power a programu MATLAB/Simulink.

WP20A13: Příprava a realizace experimentů k ident. simulačních a pred. modelů motoru [2,3]

– Vytvořen GT-Power model IVECO motoru. Model zjedodušen do FRM podoby pro snížení výpočetní náročnosti. Probíhá příprava pro použití modelu při testování a ladění prediktivního regulátoru.



Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

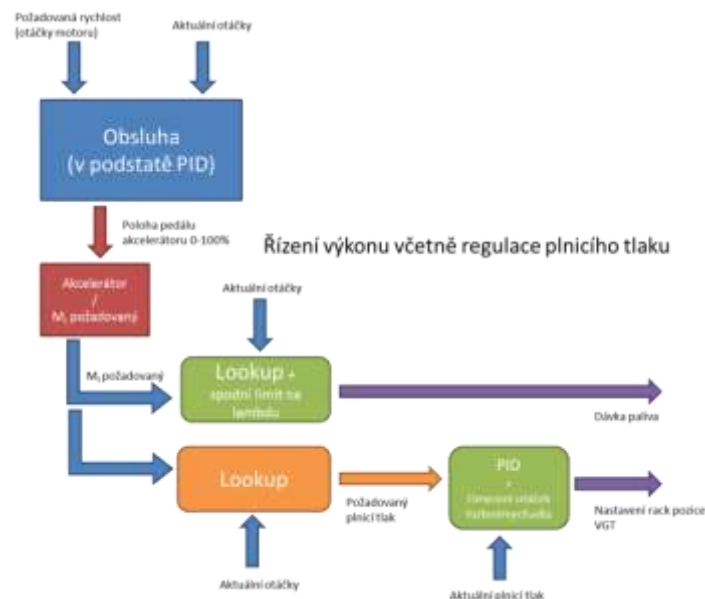
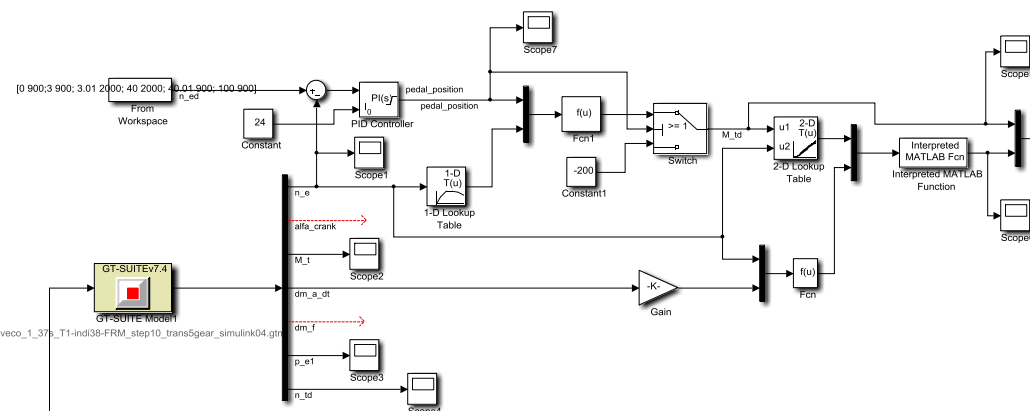
Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

WP20A14: Experimenty s řídicími systémy [1,2,3,4,5]

- Probíhají experimenty s řídicími systémy na vznětovém motoru IVECO. [1,2,3]
- Provedena příprava motoru ŠKODA 1.4 TSI. Zahájeny experimenty vedoucí k získání základních charakteristik motoru. [1,2,3,5]
- Probíhají funkční zátěžové testy řídicí jednotky. [4]

WP20A15: Vývoj a optimalizace experimentů a simulací pro rychlou ident. pred. modelů [2,3]

- Vytvořena kosimulace GT-Power modelu IVECO motoru v prostředí MATLAB/Simulink pro použití při kalibraci a vývoji prediktivních modelů v MiL simulaci.



Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

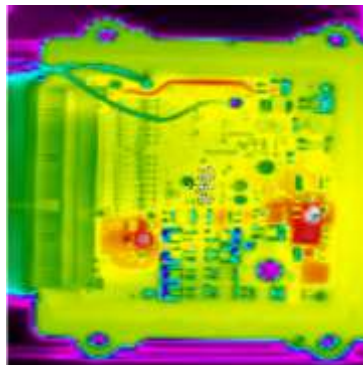
Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

WP20A16: Komplexní vývoj říd. systému pro opt. spotř. paliva a min. emisí vznět. motoru [4]

– Byla vyvinuta řídicí jednotka. Proběhlo otestování EMC provozní konfigurace řídicí jednotky v TÜV Praha. Probíhají funkční zátěžové testy řídicí jednotky.



obr1.: vzorek řídicí jednotky



obr2.: Termosnímek zatížené jednotky umístěné v klimakomůře



Obr3.: naměřené úrovně elmag. rušení vyzařované běžící jednotkou

Plnění cílů, milníků a výstupů, splněné výsledky balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Pro konec roku 2014 nejsou plánovány žádné výstupy a výsledky.

Plnění dílčích cílů, milníků a výstupů

Dohodnut společný přístup k architektuře modulární unifikované řídicí strategie a specifikace systémových požadavků. Shrnutí výstupu je popsáno v odborné zprávě pro rok 2013 jako výstup WP20V001 v souladu s WP20C01 v rámci činnosti WP20A01 a WP20A03. [1-5] (12/2013)

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

Pro konec roku 2014 nejsou plánovány žádné výsledky.

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Návrh dalšího postupu v balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Návrh dalšího postupu včetně návrhů na spolupráci a realizaci výstupů

- Měření na benzínovém přeplňovaném motoru s cílem získat data pro vytvoření WAVE a WAVE-RT modelu motoru [1, 2, 3]
- Dokončení vývoje a kalibrace základní strategie řízení benzínovém přeplňovaného motoru, testování strategie s použitím rCube2 ECU. [1, 2, 3, 5]
- Měření dat pro kalibraci prediktivního modelu IVECO motoru [1, 2, 3]
- Příprava SW komponent pro použití prediktivního řízení IVECO motoru na testovací stanici [1, 2, 3]
- Úpravy řídicí jednotky pro splnění homologačních požadavků. Příprava pro sériovou výrobu řídicí jednotky. Další testování řídicí strategie pro vznětový motor za pomoci vyvinuté řídicí jednotky na motoru Zetor [4]
- Vývoj a testování prediktivního a adaptivního řízení. [1, 2, 3, 5]

Obecně využitelné souvislosti mezi WP:

- Předpokládá se synergie s balíčky WP09 a WP12 zabývající se:
 - vývojem vstřikovacího zařízení pro spalovací motory s vyššími technicko-ekonomickými parametry a nízkými emisemi
 - návrhem a zkouškami příslušenství pro plnění a vstřikování paliva ve vznětových motorech pro uvažovaná budoucí paliva
- Předpokládá se synergie s balíčkem WP06 zabývající se optimalizací činnosti turbodmychadel a jejich použití v komplexních řídicích algoritmech
- Předpokládá se synergie s balíčkem WP25 zabývající se pokročilými zkušebními metodami pro spalovací motory a hnací řetězec
- Předpokládá se synergie s balíčkem WP05 zabývající se simulací systémů a strategie řízení za účelem optimalizace celkové spotřeby energie a produkovaných emisí s ohledem na výpočet celkové energetické náročnosti tj. well-to-wheel

Prezentační a publikační činnost:

- B. Hnilička, M. Horáček, A. Kouba, M. Vinklár: Testbed application of diesel engine controlled by rCube2 ECU with WAVE-RT module, Ricardo User Conference in Germany

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Poděkování za podporu balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Poděkování

- Ricardo Prague s.r.o. další členové balíčku WP20 děkují společnosti Honeywell Turbo Technologies (WP06) za zapůjčení VGT turba v rámci prací na motoru IVECO
- Ricardo Prague s.r.o. další členové balíčku WP20 děkují společnosti ŠKODA AUTO a.s. (WP10) za zapůjčení motoru ŠKODA 1.4 TSI

Děkuji za pozornost

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Výťah z provedených prací 2012-2014 na WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Aktuální výstupy

[1-5]: The works focused on a definition of modular unified engine control strategy and specification of system requirements are finished and approved by all members in Final document for year 2013 according to WP20C01.

[1]: WAVE-RT model motoru IVECO byl úspěšně implementován v Ricardo "prototyping" ECU – rCube2. Ověření bylo provedeno na zkušební. Vytvořena řídicí strategie pro vznětový motor ve formě modulární řídicí strategie.

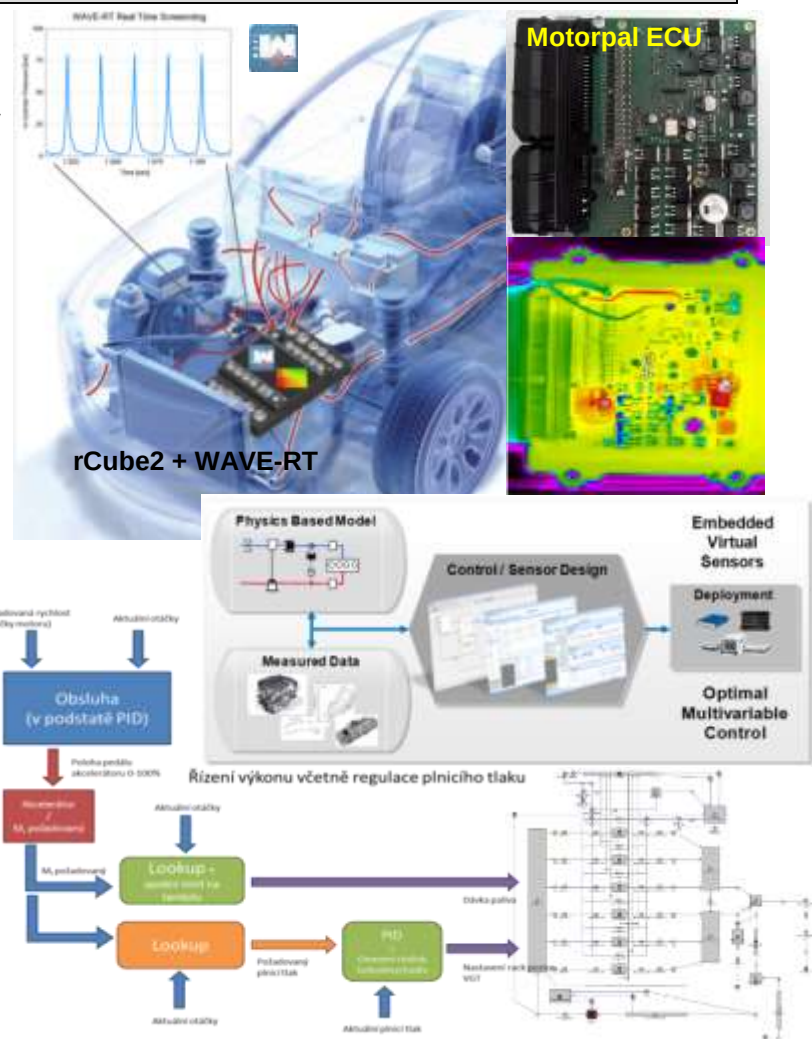
[2]: Byly vytipovány metody řízení vhodné z hlediska robustnosti a možnosti koordinace řízení jednotlivých subsystémů. Byla vytvořena obecná řídicí procedura aplikující prediktivní řízení na bázi prediktivních modelů a kvadratického optimalizačního kritéria bez omezení vstupních a výstupních veličin. Vytvořen model GT-Power motoru IVECO. Vytvořena možnost kosimulace GT-Power s MATLAB/Simulink.

[3]: Motorové zkušebny prošly úspěšně akreditačním procesem. Zkušebny doplněny o další technologické a přístrojové vybavení. Probíhá podpora ostatních členů balčku na zkušebně. Provedena metrologické ověření měřících řetězců.

[4]: Pokračuje vývoj a testování řídicích algoritmů v prostředí MATLAB/Simulink s nadstavbou Target link. Vyvinut vlastní řídicí systém. Testování řídicích algoritmů na vyvinuté ECU na motoru Zetor.

[5]: Vyvinuty algoritmy pro implementaci pred. regulátorů do ECU. Modifikace vzduchové cesty OnRamp modelů pro zážehové motory. Testování/validace modelů vzduchové cesty zážehového motoru

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell



Abstract 2012-2014 of WP20: Engine predictive or adaptive flexible control for minimum fuel consumption and pollutant emissions

Current outputs

[1-5]: The works focused on a definition of modular unified engine control strategy and specification of system requirements are finishing.

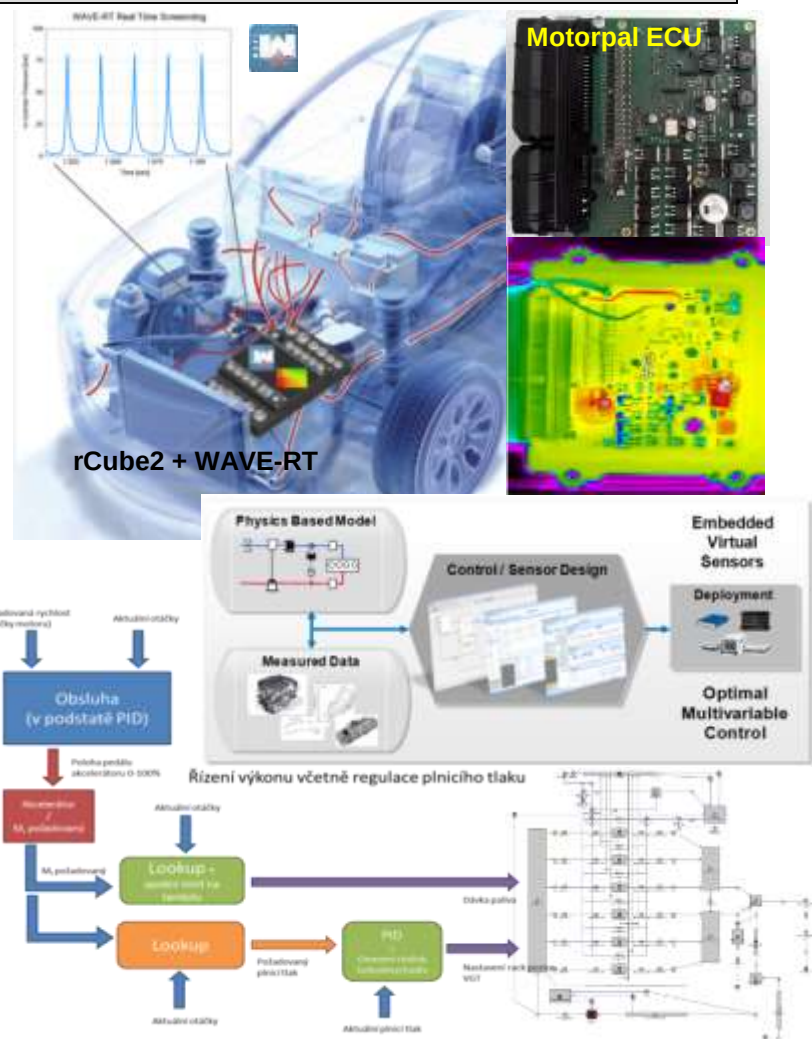
[1]: WAVE-RT model of IVECO engine was successfully implemented into Ricardo rapid prototyping ECU - rCube2. Validation of the system was tested on test cell. Modular engine control strategy for diesel engines was developed

[2]: Methods allowing coordination of individual control tasks with high robustness were selected. Developed general control procedure using predictive control approach based on predictive models and quadratic optimisation criteria excluding limitation of input and output variables. GT-Power model of IVECO engine was completed. Cosimulation of GT-Power model with MATLAB/Simulink was developed.

[3]: Engine testbed workplaces have passed accreditation procedure. Installation of additional technology and measuring equipment continues. Support of other WP members on testbed in VTP Roztoky continues.

[4]: Development and testing of control algorithms continue in MATLAB/Simulink environment with Target link extensions. Engine control unit (ECU) was developed. Testing of developed engine control strategy implemented in developed ECU.

[5]: Development of numerical optimization algorithms for implementation of MPC controllers for ECU fit. Modification of OnRAMP Air-path Models and Design Suite Software for SI Engines. Model Validation with On-engine Data.



Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Výtah z provedených prací za rok 2014 na WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Aktuální výstupy

[1-5]: Dohodnut společný přístup k architektuře modulární unifikované řídicí strategie a specifikace systémových požadavků. Shrnutí výstupu je popsáno v odborné zprávě pro rok 2013 v souladu s WP20C01.

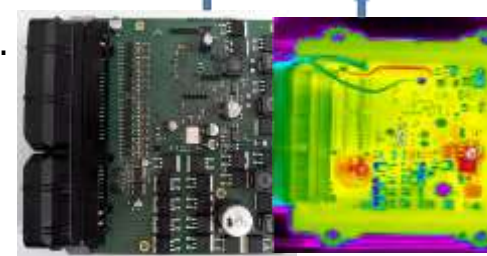
[1]: WAVE-RT model motoru IVECO byl úspěšně implementován v Ricardo 'prototyping' ECU – rCube2. Ověření bylo provedeno na zkušební stanici. Probíhají práce na využití WAVE-RT pro řízení ve zpětné vazbě v aplikaci na zkušební stanici.

[2]: Vytvořen model GT-Power motoru IVECO. Vytvořena kosimulace GT-Power modelu IVECO motoru v prostředí MATLAB/Simulink pro použití při kalibraci a vývoji prediktivních modelů v MiL. Byly vytipovány metody řízení vhodné z hlediska robustnosti a možnosti koordinace řízení jednotlivých subsystémů. Byla vytvořena obecná řídicí procedura aplikující prediktivní řízení na bázi prediktivních modelů a kvadratického optimalizačního kritéria bez omezení vstupních a výstupních veličin.

[3]: Probíhá podpora [1,2,3] při experimentech s motorem IVECO na zkušebně ve VTP Roztoky. Probíhá podpora [1,2,3,5] při experimentech s motorem ŠKODA na zkušebně ve VTP Roztoky.

[4]: Byla vyvinuta řídicí jednotka. Probíhají funkční testy řídicí jednotky. Probíhá reálné testování vyvinuté řídicí strategie prostřednictvím vyvinuté řídicí jednotky na motoru Zetor v testovací stanici firmy Motorpal.

[5]: Probíhají práce na modifikaci vzduchové cesty OnRamp modelů pro zážehové motory. Probíhá validace / testování přesnosti modelu zážehového motoru. Probíhají práce na komponentě pro řízení vzduchové cesty motoru ŠKODA.



Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Abstract 2014 of WP20: Engine predictive or adaptive flexible control for minimum fuel consumption and pollutant emissions

Current outputs

[1-5]: The works focused on a definition of modular unified engine control strategy and specification of system requirements are finished and approved by all members in Final document for year 2013 according to WP20C01.

[1]: WAVE-RT model of IVECO engine was successfully implemented into Ricardo rapid prototyping ECU rCube2. Validation of the system was tested on test cell. The work focused on a development of engine control strategy using feedbacks from WAVE-RT module in testbed application continues.

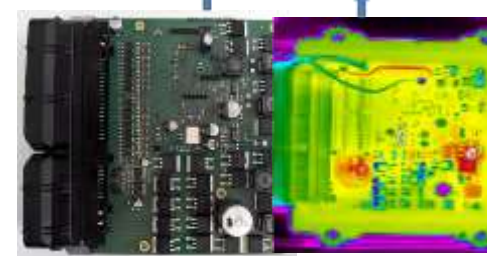
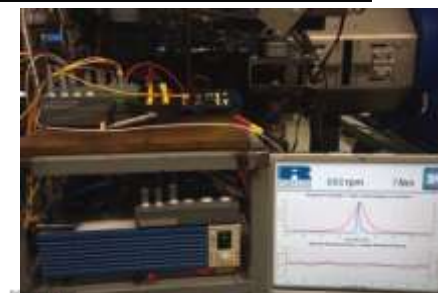
[2]: GT-Power model of IVECO engine was build. Created co-simulation of IVECO GT-Power model and MATLAB-Simulink. Co-simulation will be used for calibration and development of predictive models in MiL. Methods allowing coordination of individual control tasks with high robustness were selected. Developed general control procedure using predictive control approach based on predictive models and quadratic optimisation criteria excluding limitation of input and output variables.

[3]: Support of [1,2,3] experiments with IVECO engine on testbed in VTP Roztoky continues. Support of [1,2,3,5] experiments with SKODA engine on testbed in VTP Roztoky continues.

[4]: Engine control unit (ECU) was developed. Testing of developed engine control strategy implemented in developed ECU proceeding on Zetor engine application on Motorpal test cell.

[5]: Modification of OnRAMP Air-path Models and Design Suite Software for SI Engines. Model Validation with On-engine Data. Controller Interface and Problem Specification for Škoda 1.4L TSI engine.

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell





Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka

- AutoSympo a Kolokvium Božek 2014, Roztoky -

Přílohy

Následují přílohy z provedených prací na balíčku WP20

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Diesellový motor IVECO:

Současný stav:

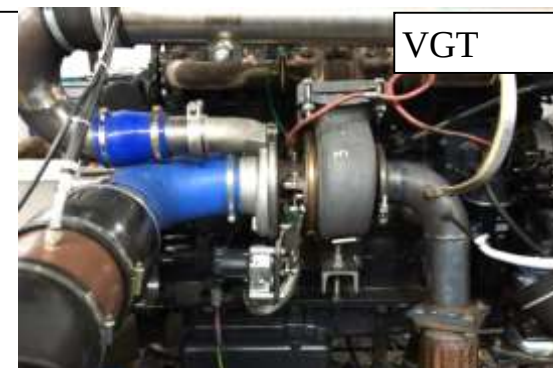
- Základní varianta IVECO motoru [1,2,3]
 - Vytvořeny modely WAVE, WAVE-RT a MVEM [1,3]
 - Vytvořena a otestována řídicí strategie na brzdě ve VTP Roztoky [1,2,3]
- Rozšířená varianta IVECO motoru s VGT turbodmychadlem [1,2,3] + WP06 ([5])
 - Vytvořeny modely WAVE, WAVE-RT a MVEM [1,3]
 - Vytvořena a otestována řídicí strategie na brzdě ve VTP Roztoky [1,2,3]
 - WAVE-RT model implementován do rCube2 ECU [1]
 - úspěšný test paralelního souběhu modelu a reálného motoru během celého WHTC cyklu na testovacím stanovišti ve VTP Roztoky [1,2]
- Otestován low-cost senzor OPTRAND pro indikaci tlaku ve válci na brzdě
 - provedeno srovnání se senzorem AVL [1]

Probíhá:

- Rozšířená varianta IVECO motoru s VGT turbodmychadlem
 - využití WAVE-RT modelu pro zpětnovazební řízení za účelem snížení emisí a spotřeby [1]
 - Implementace MPC controlleru pro řízení vzduchové cesty do Ricardo řídicí strategie [1,2,3]
- domluvená bližší spolupráce s p. Vojtíškem (Měření emisí)



Type: F4AE0682C – turbocharger diesel with intercooler
Max. power: 194 kW / 2500 rpm
Max. torque: 930 Nm
Number of cylinders: 6 cylinders, inline
Stroke volume: 5.9 litre
Fuel injection system: HPCR electronic (Common Rail)
VGT (instead of the original wastegate) was chosen for the advanced ECU implementation



Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Benzínový motor ŠKODA 1.4.TSI:

Probíhá:

- Měření základních charakteristik motoru v základní variantě s BOSCH ECU – data pro kalibrace, HW zapojení a data pro tvorbu WAVE, WAVE-RT a MVEM modelů [1,2,3,5]
- Příprava kabeláže pro připojení rCube2 ECU [1]
- Vytváření řídicí strategie pro benzínový motor [1,5]
 - Základní řídicí strategie [1]
 - Řízení vzduchové cesty [5]

Další kroky:

- Implementace WAVE-RT modelu do rCube2 [1]
- Využití WAVE-RT modelu pro zpětnovazební řízení za účelem snížení emisí a spotřeby [1]
- Implementace algoritmů řízení vyvinutých na ČVUT řídicí strategie a ověření na brzdě ve VTP Roztoky [1,2]
- Motor zapůjčen firmou ŠKODA AUTO a.s.
- domluvená bližší spolupráce s p. Vojtíškem (Měření emisí)

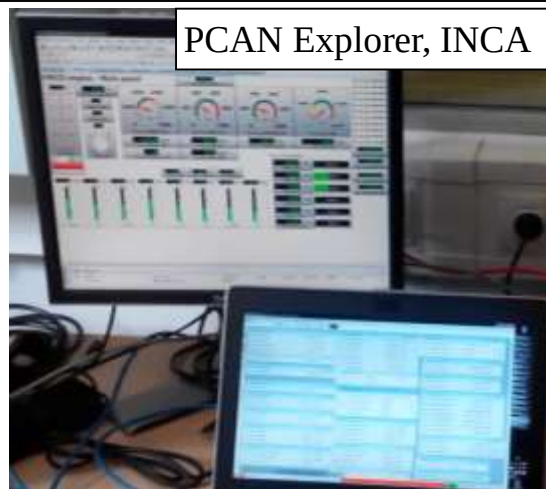


Manufacturer: VW (EURO 6)
Type: EA211, 1.4 litre TSI
Max. power: 103 kW / 4500 - 6000 rpm
Max. torque: 250Nm / 1500 - 3500 rpm
Number of cylinders: 4 cylinders, inline
Stroke volume: 1.395 litre
Fuel injection system: Bosch Monotronic MED 17.5.21
Fuel: gasoline
Bore: 74.5 mm
Stroke: 80 mm

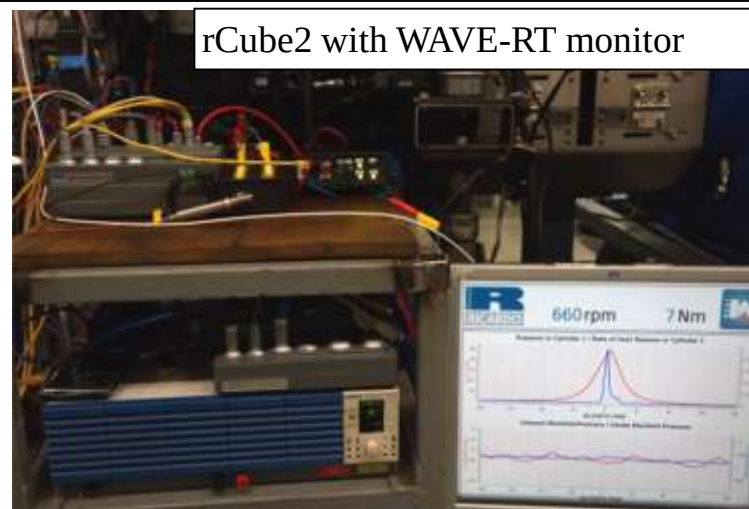
Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

**WAVE-RT model
running on rCube2
-testbed application
[1,3]**



PCAN Explorer, INCA



rCube2 with WAVE-RT monitor

Main control testbed board, indiCOM monitor



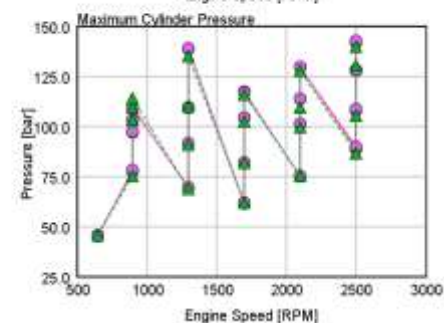
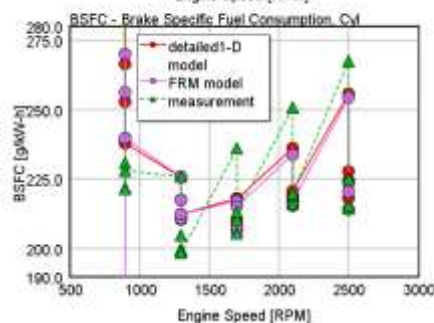
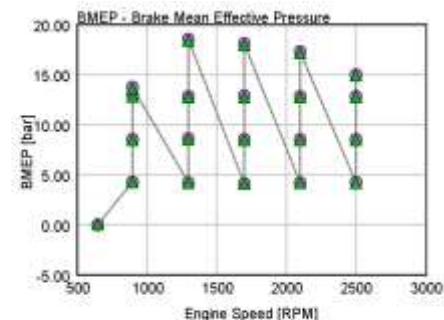
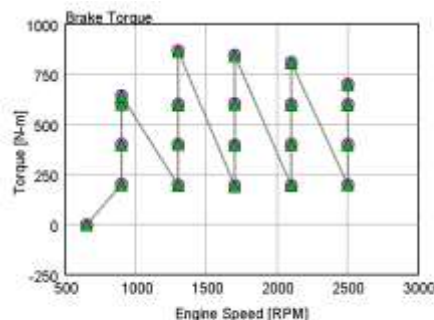
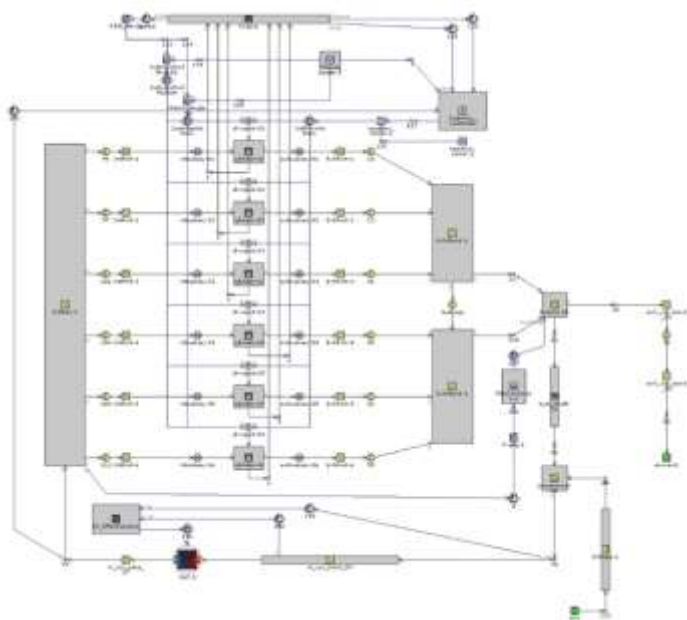
VGT

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Simulační model motoru – úprava na Fast Running Model (FRM) [2]

- Pro ladění a testování prediktivních regulátorů použit model vznětového motoru IVECO – model v prostředí GT-Power.
- Detailní 1-D model zjednodušen a převeden na méně výpočetně náročný FRM.
- Model naladěn dle naměřených dat včetně indikací (velmi dobré výsledky, mírná neshoda v predikci spotřeby – možná nejistota měření). Shoda výsledků FRM s detailním 1-D model velmi dobrá.
- Výpočetní čas FRM o 77% kratší než u detailního 1-D modelu, 3,5x delší oproti hypotetickému real-time modelu.

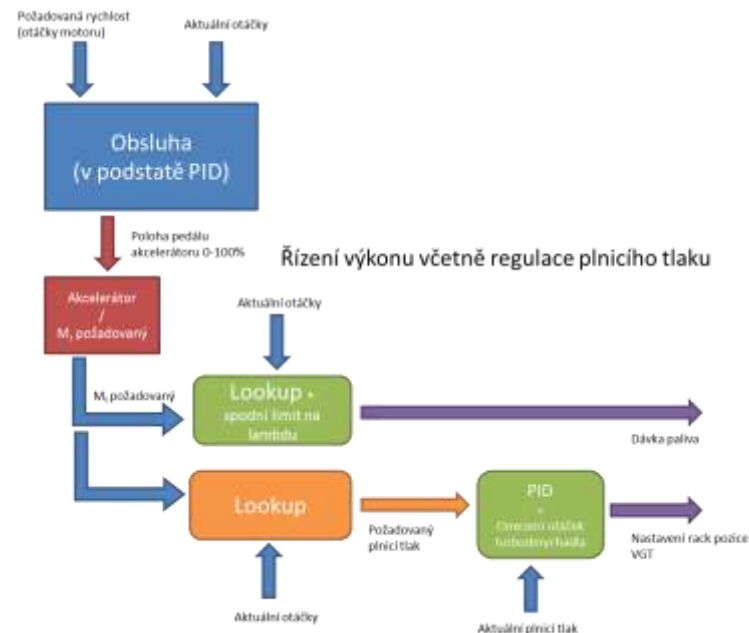
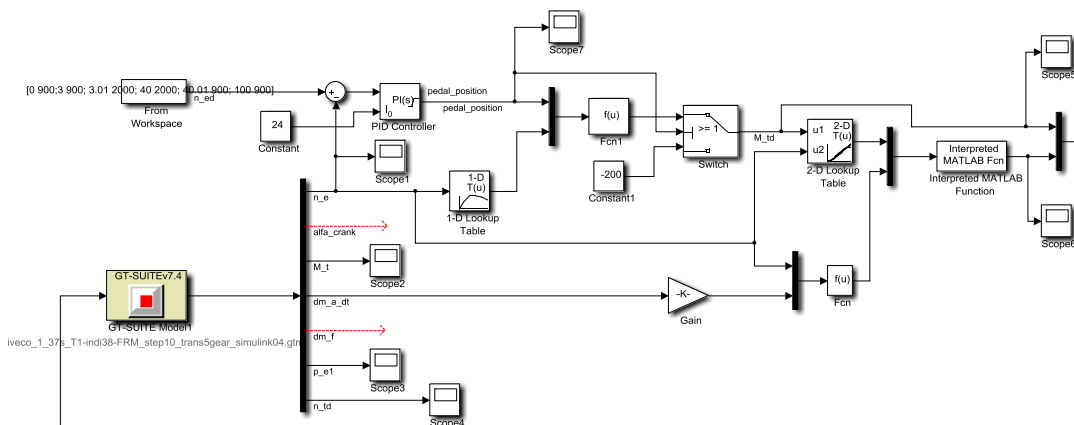


Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Zpětovazební řízení simulačního modelu – MIL [2]

- Kosimulace GT-Power – Simulink: metoda model-in-the-loop (MIL)
- model motoru v GT-Power je (zpětnovazebně) řízen ze Simulinku
- příprava na prediktivní řízení v kosimulaci



Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Metody výpočtu prediktivního řízení – výzkum metod kvadratického programování [2]

- Výpočet prediktivního řízení (MPC) vede obecně na úlohu minimalizace kritéria optimality při respektování potenciálních omezení řídicích i řízených veličin:

$$\min_u \sum_{k=0}^{N-1} \|P^y(y_k - r(t))\|^2 + \|P^u(u_k - u_{ref})\|^2$$

s.t.

$$\begin{cases} x_{k+1} = Ax_k + Bu_k \\ y_k = Cx_k \end{cases}$$

$$u_{\min} \leq u_k \leq u_{\max}$$

$$y_{\min} \leq y_k \leq y_{\max}$$

(kde $\begin{cases} x_{k+1} = Ax_k + Bu_k \\ y_k = Cx_k \end{cases}$ je linearizovaný stavový popis řízeného dynamického systému)

→ úloha **kvadratického programování**

Výpočet prediktivního řízení (MPC) vede obecně na úlohu minimalizace kritéria optimality při respektování potenciálních omezení řídicích i řízených veličin:

- Metody kvadratického programování se stále vyvíjejí – snaha zrychlit výpočet řešení optimalizační úlohy. Základní dělení metod řešení MPC:
 - **„Offline“ metody** → Explicitní MPC - vede na tzv. multiparametrické kvadratické programování: Dopředu se najde obecné parametrické řešení, přičemž jednotlivé proměnné parametry se následně počítají on-line, v jednotlivých diskretizačních krocích MPC.
 - Výhoda: vždy optimální řešení. X Použitelné pouze pro lineární dyn. systémy. Obecně vhodné pro soustavy s menším počtem stavů a omezujících podmínek (s počtem podmínek rychle rostou nároky na výpočetní techniku).
 - **„Online“ metody** - řešení optimalizační úlohy probíhá v každém okamžiku diskretizace. Metody: - aktivního setu, - gradientní projekce, - vnitřního bodu, - proximální metody,...

Výhody: - použitelné i pro řízení nelineárních (po částech lineární) dyn. systémů. X Řešení s menší přesností, často suboptimální.

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

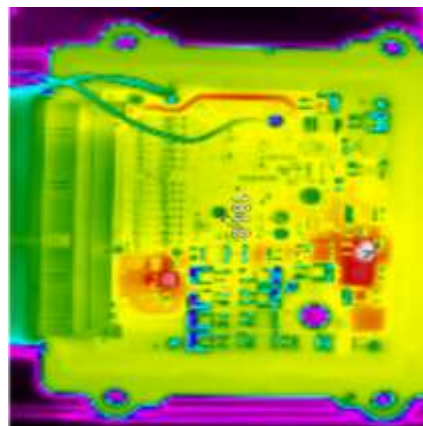
Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Prototyp řídicího systému [4]

- V roce 2014 byl vyvinut vzorek řídicí jednotky, na kterém probíhají funkční a zátěžové testy.



obr1.: vzorek řídicí jednotky



obr2.: Termosnímek zatížené jednotky umístěné v klimakomůře



Obr3.: naměřené úrovně elmag. rušení vyzařované běžící jednotkou

- Na vzorku zapojeném v provozní konfiguraci proběhlo Měření EMC v TÜV Praha. Pro splnění homologačních požadavků na prototyp pro sériovou výrobu jsou potřeba další úpravy.

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Testování řídicího systému [4]

- Funkční vzorek řídicí jednotky slouží pro testování řídicích strategií na motorech Zetor a MMZ. Testování probíhá na brzdě motorů v Motorpalu.



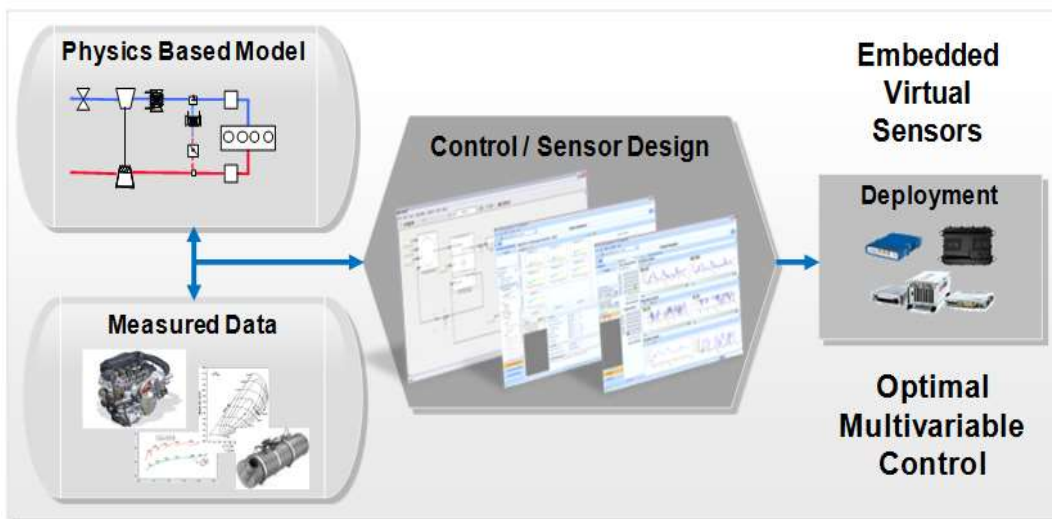
obr4.: Aplikace řídicí jednotky na motoru Zetor

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Air path control [5]

- Modification of OnRAMP Air-path Models and Design Suite Software for SI Engines
- Model Validation with On-engine Data
- Controller Interface and Problem Specification for Škoda 1.4L TSI engine



Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell