

Popis obsahu balíčku WP20: 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 řízené soustavy.

Dílčí cíle balíčku pro nejbližší období

Definice architektury modulární unifikované řídicí strategie a specifikace systémových požadavků (dosažení 12/2013). Vývoj WAVE/WAVE-RT modelů, komponent řídicí strategie, plánování experimentů, algoritmů numerické optimalizace, prediktivního řízení (2012-2014).

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

Popis výstupů a výsledků

2012 – 06/2015:

Koncept architektury modulární řídicí strategie a specifikace systémových požadavků. [1-5]: **WP20A01, A02, A03**

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:

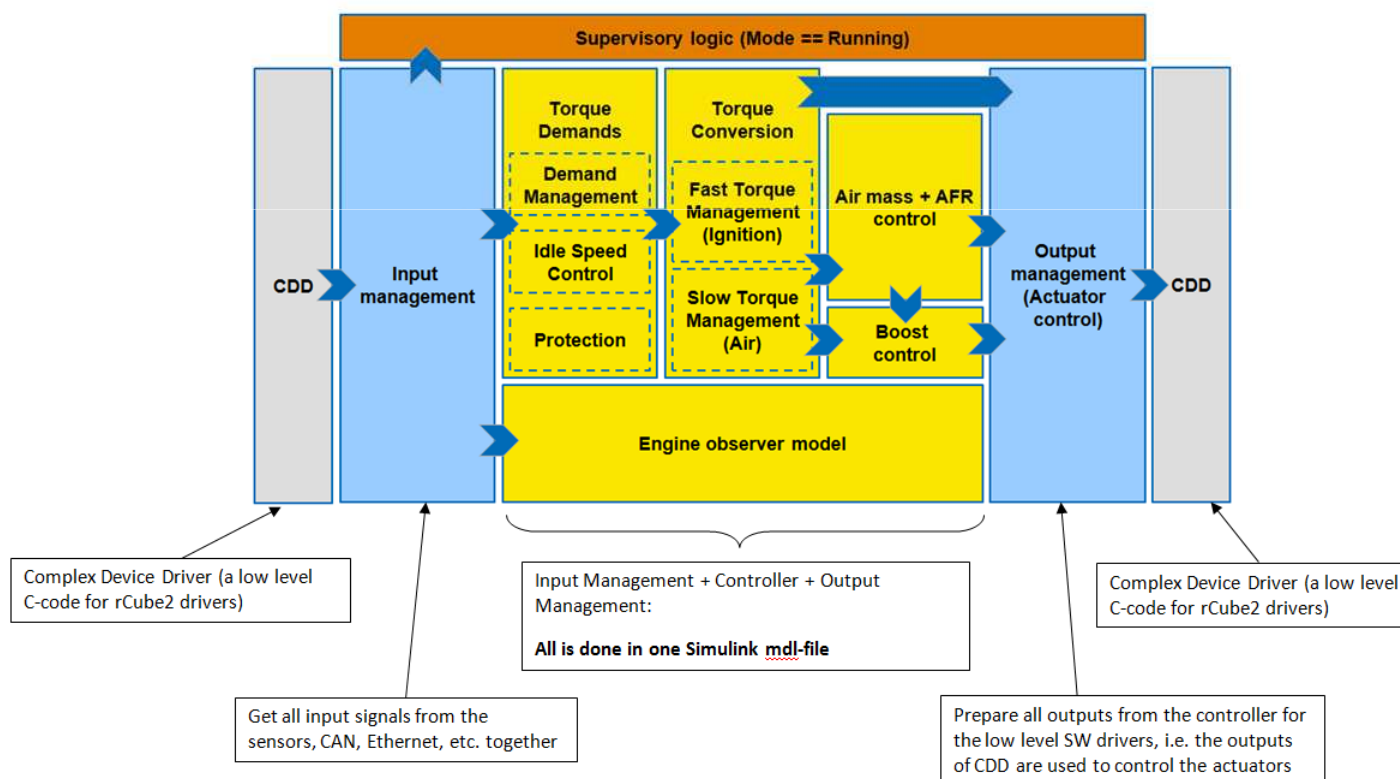
[1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

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

WP20A01: Definice architektury unifikované řídicí strategie

- Probíhá společná práce mezi členy balíčku [1, 2, 3]
- Analýza možností řízení se zaměřením na redukci spotřeby paliva a snižování emisí výfukových zplodin

Key subsystems and information flows of engine control strategy

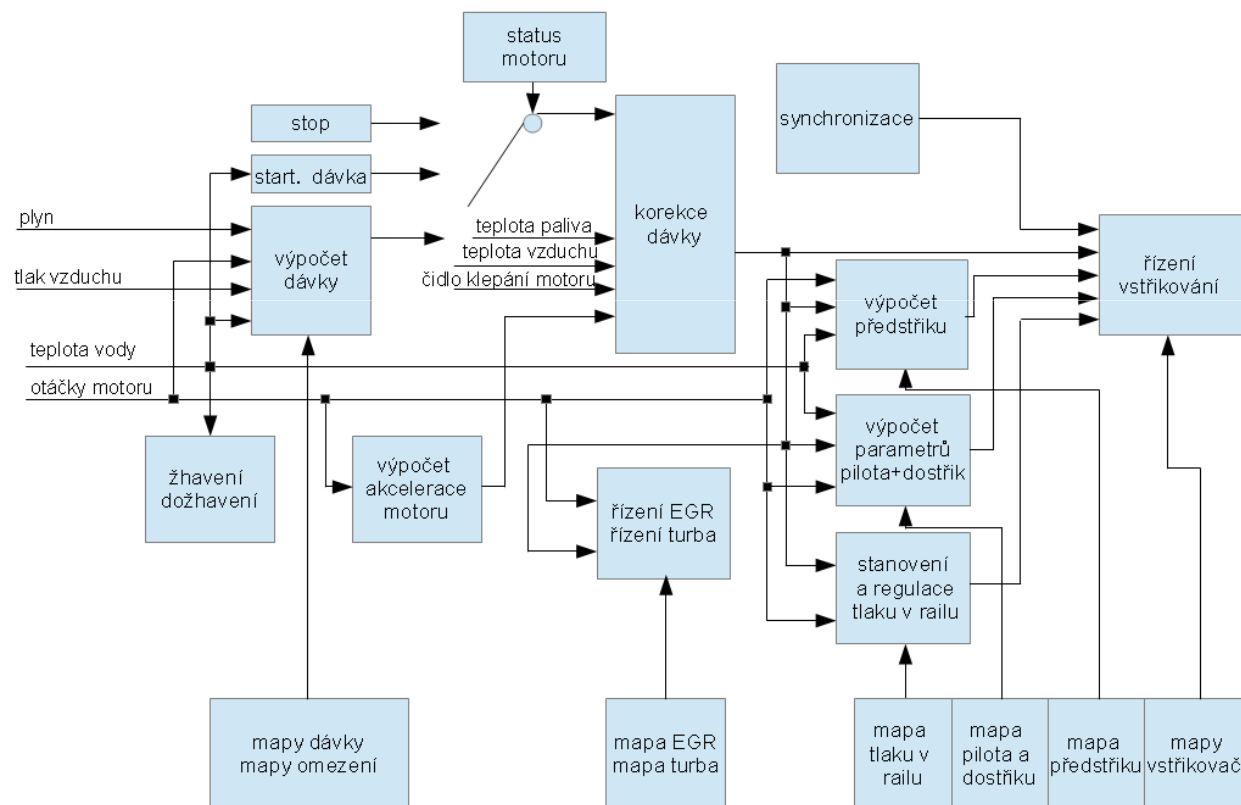


Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

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

WP20A01: Definice architektury unifikované řídicí strategie

– Probíhá společná práce mezi členy balíčku [4] – details



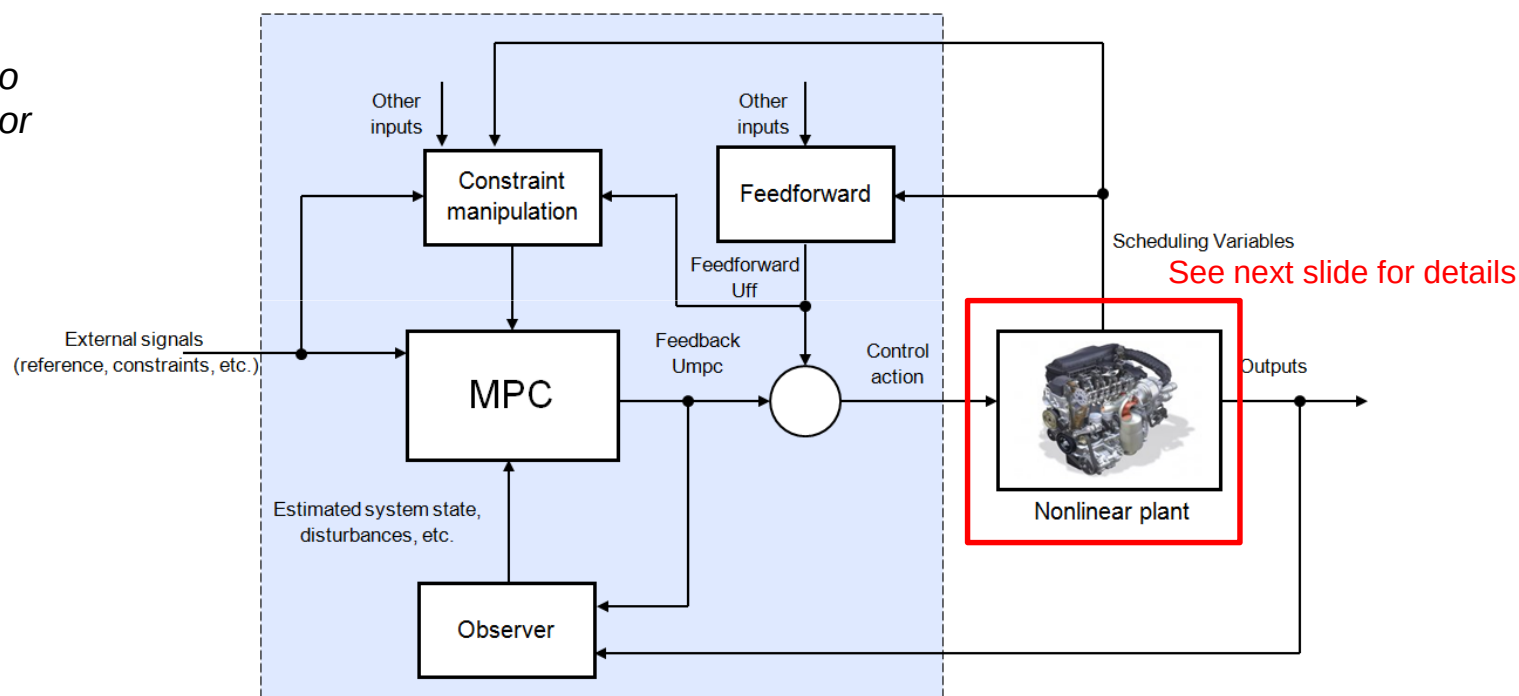
Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

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

WP20A01: Definice architektury unifikované řídicí strategie

– Probíhá společná práce mezi členy balíčku [5] – Model Predictive Control (MPC) strategy approach

*Same control
pattern applied to
diesel, gasoline or
aftertreatment*



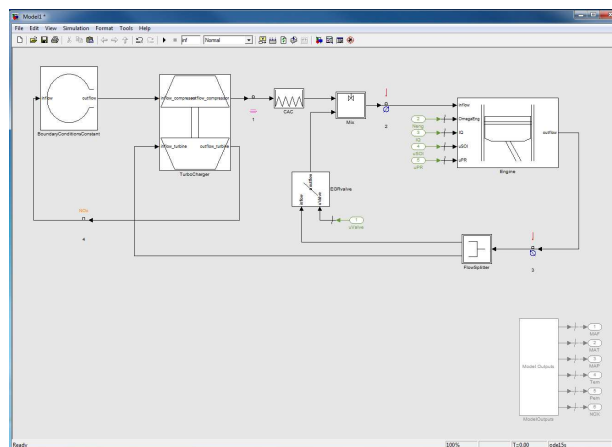
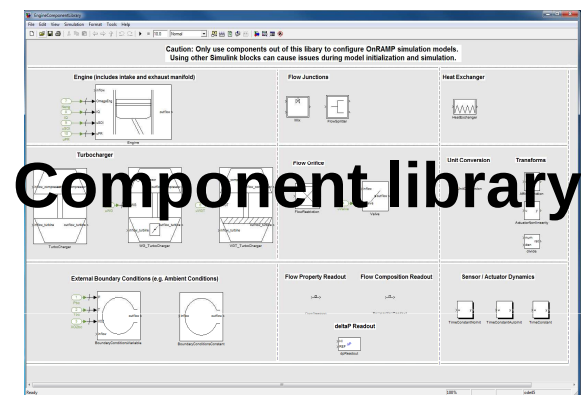
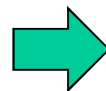
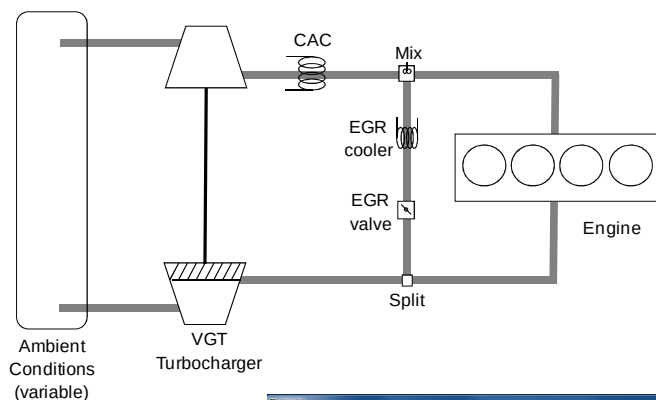
- Model predictive controller (MPC) with observer
- Controller scheduled on selectable variables (commonly speed and fuel)
- Controller comprises feedforward and feedback parts

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

WP20A01: Definice architektury unifikované řídicí strategie

– Probíhá společná práce mezi členy balíčku [5] – library based non-linear model development



Simulink library used
for non-linear model
design

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

WP20A02: Vývoj plánování experimentů

- Probíhají experimenty na naftovém přeplňovaném motoru IVECO. Připravuje se doplnění motoru IVECO o VGT. [1, 2, 3]
- Připravují se experimenty s benzínovým přeplňovaným motorem Škoda Auto [1, 2, 3, 5]
- Probíhá konfigurace a testování bloku stanovení a regulace tlaku v 'railu'. Regulační úlohou je zajištění požadované hodnoty tlaku v 'railu', akčním členem je škrtkový ventil umístěný na straně sání vysokotlakého čerpadla, omezeně a krátkodobě lze jako akční člen použít i vysokotlaký ventil v 'railu' DRV. Jedná se o regulaci hydraulické soustavy se všemi problémy s tím spojenými. Experimenty jsou plánovány na naftovém motoru Zetor a MMZ. [4]

– Rozdělení experimentů do dvou fází:

1. **Identifikační:** Realizace sekvencí s naplánovanými průběhy akčních veličin a se záznamem průběhů veličin měřených, a to za účelem následné identifikace simulačních či prediktivních modelů
2. **Řídicí:** Realizace sekvencí při zapojené řídicí smyčce, s předepsaným průběhem řízených veličin (a opět se záznamem veličin měřených)

WP20A03: Specifikace systémových požadavků

- Probíhá společná práce na vytvoření seznamu akčních a řízených veličin, formulace požadavků na senzory a na režimy řízeného zatěžování motoru. [1, 2, 3, 4, 5]
- Vývoj strategie řízení motoru probíhá v prostředí MATLAB/Simulink s implementací do řídicí jednotky rCube2 – vývoj a implementace kódu dle standardu AUTOSAR 2.1. Testování probíhá na zkušebnách ve VTP Roztoky. [1, 2, 3, 5]
- Činnost probíhá v prostředí MATLAB/Simulink s nadstavbou Target link. Reálné testování probíhá prostřednictvím nástroje dSpace Autobox. Testování probíhalo se systémem 'common rail' umístěným na zkušební stanici, umožňující nastavení otáček vysokotlakého čerpadla, měření objemového množství výstřiků a měření dalších veličin. Několik pokusů bylo také již provedeno na motoru Zetor. Základním systémovým požadavkem na vývojové nástroje je možnost odladěné regulační schéma vygenerovat v jazyce C přenositelném do řídicí jednotky ECU. [4]

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



Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka - AutoSympo a Kolokvium Božek 2013, 30.+31.10. 2013 Roztoky -

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

WP20A03: Specifikace systémových požadavků

- Motorové zkušebny prošly úspěšně akreditačním procesem [3]
- Probíhá doplnění technologickým a přístrojovým vybavením [3]
 - Dokončeno kondicionování vody v motoru v boxu 5 – návrh, realizace, ověření externího výměníku voda/voda
 - Probíhá rešerše možností kondicionování nasávaného vzduchu do motoru (teplota je regulovatelná, zbývá zajistit regulaci vlhkosti)
 - Připravuje se kondicionování vážící komory pro měření pevných částic

Výše prezentované aktivity vedou k dosažení všech cílů pro 2013.

Následující slidy krátce shrnují aktuální stav paralelně běžící aktivit směřující ke splnění cílů v období 2014 a 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 s jednoduchou strategií řízení. Plánováno ověření na zkušebně.

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

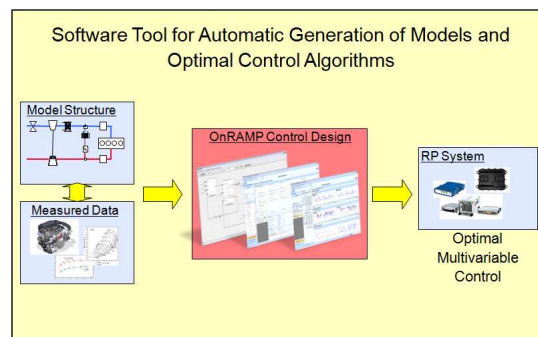
- Činnost probíhá v prostředí MATLAB/Simulink s nadstavbou Target link. Reálné testování probíhá prostřednictvím nástroje dSpace Autobox. Ověřování probíhá na motoru Zetor.

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

- 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



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



Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka - AutoSympo a Kolokvium Božek 2013, 30.+31.10. 2013 Roztoky -

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

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

- Probíhá vývoj knihovny nelineárních bloků pro použití v MPC.

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

- Na základě rešerše byly vytipovány metody řízení vhodné z hlediska robustnosti (vůči poruchám a nepřesnostem modelů) a možnosti koordinace řízení jednotlivých subsystémů motoru:
 - MPC – prediktivní řízení na bázi prediktivních modelů
 - metody robustního řízení
- Vytvořena obecná řídicí procedura aplikující prediktivní řízení na bázi prediktivních modelů a kvadratického optimalizačního kritéria bez omezení vstupních a výstupních veličin.
- Probíhá výzkum možností začlenění limitních hodnot akčních i řízených veličin do řídicího algoritmu s využitím metod kvadratického programování.
- Paralelně jsou mapovány další použitelné přístupy k řízení; pozornost je věnována především metodám robustního řízení.

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

- Pokračuje testování strategie řízení pro IVECO motor na zkušebně.

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

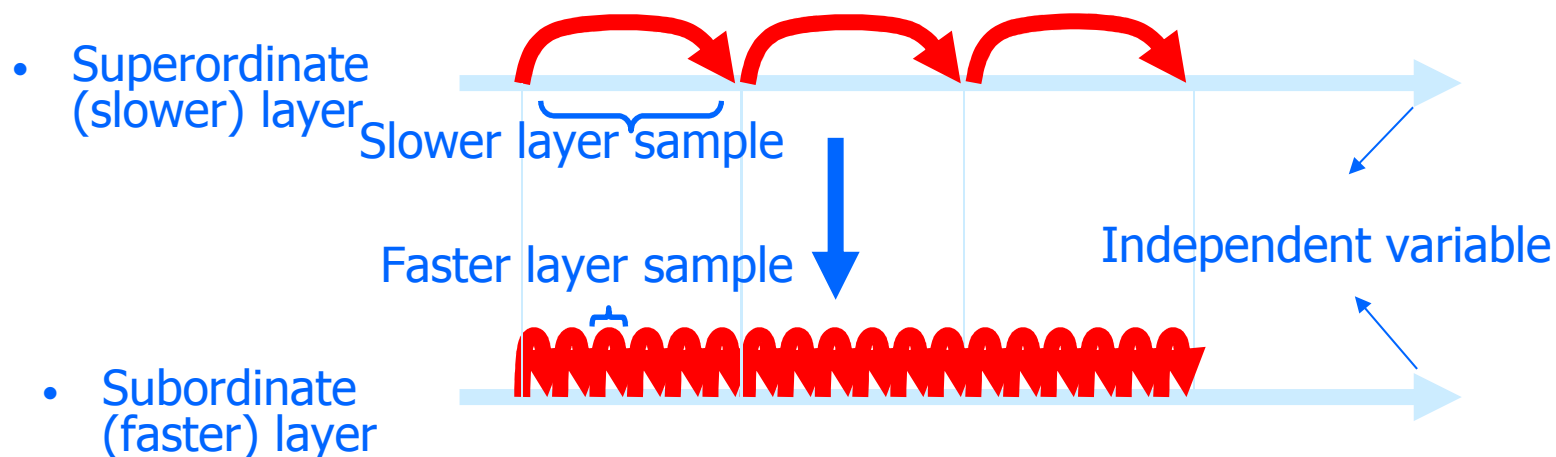
- Probíhá vývoj algoritmů pro automatickou kalibraci pomocí modelů WAVE a naměřených dat.

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

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

- Vypracován ideový návrh víceúrovňové hierarchické struktury řízení, kdy jsou řídicí zásahy v nižších úrovních podřízeny zásahům ve výše postavených řídicích smyčkách.
- Probíhá práce na algoritmu dvouúrovňového prediktivního řízení na základě tohoto ideového návrhu:
 - V hierarchicky nižší úrovni jsou řízeny děje s rychlejší dynamikou;
 - V 'nadřazené' úrovni probíhá řízení pomalejších dějů, přičemž akční zásahy z této úrovně jsou ve skutečnosti omezujícími podmínkami pro zásahy v hierarchicky nižší úrovni.



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

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, vývoj a kalibrace základní strategie řízení motoru, testování strategie s použitím rCube2 ECU. [1, 2, 3, 5]
- Odladění bloku řízení vstřikování. V současnosti probíhají zkoušky nových prototypů vstřikovačů ve věci mapování objemového množství výstřiku, případně i mapování zpoždění výstřiku. Po získání těchto nových dat dojde k jejich zapracování do bloku řízení vstřikování. Následně se bude pokračovat na dalších blocích schématu. [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:

J. Navratil, B. Hnilicka: *WAVE-RT real time 1-D model running on engine controller*, Ricardo User Confs. in Germany, US, Japan, China.

T. Fickenscher, B. Hnilicka and J. Navratil: *Advanced Rapid Prototyping Control Electronic Control Unit with Real-Time 1-D Gas Dynamics Model*, Virtual Powertrain Creation conference, Mainz, 2013.

B. Hnilicka, M. Dulaj, A.J. Beaumont, M. Dusterhoft: *AUTOSAR based rapid prototyping control system*, ATZ Elektronik special Issue AUTOSAR, accepted paper.

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

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

Aktuální výstupy

[1-5]: Dokončují se práce na definici architektury modulární unifikované řídicí strategie a specifikace systémových požadavků.

[1]: WAVE-RT model motoru IVECO byl úspěšně implementován v Ricardo 'prototyping' ECU – rCube2. Ověření bylo provedeno na jednoduchém HW demu. Probíhají práce na testovacím zařízení pro testování rCube2 součástí.

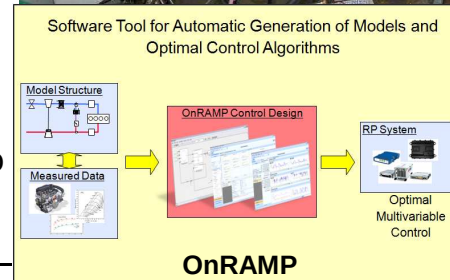
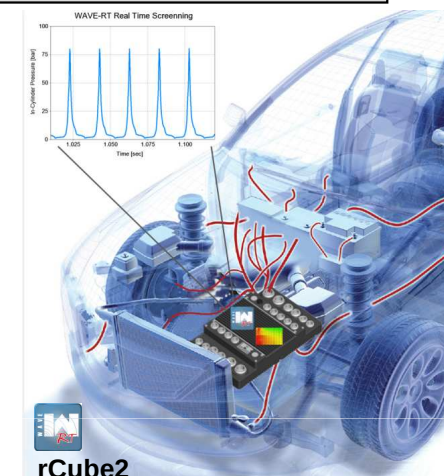
[2]: Byly vytipovány metody řízení vhodné z hlediska robustnosti a možnosti koordinace řízení jednotlivých subsystémů. Byla vytvořena obecná řídicí procedura aplikující prediktivní řízení na bázi prediktivních modelů a kvadratického optimalizačního kritéria bez omezení vstupních a výstupních veličin.

[3]: Motorové zkušebny prošly úspěšně akreditačním procesem. Probíhá doplnění technologickým a přístrojovým vybavením.

[4]: Pokračuje vývoj a testování řídicích algoritmů v prostředí MATLAB/Simulink s nadstavbou Target link. Reálné testování probíhá prostřednictvím nástroje dSpace Autobox. Byly provedeny první testy na motoru Zetor.

[5]: Probíhá vývoj algoritmů vhodných pro implementaci pred. regulátorů do ECU a vývoj num. algoritmů pro ident. komponent modelu a modelu jako celku, včetně začlenění těchto nástrojů do jednoho SW balíku. Specifikace jednotlivých komponent modelu potřebných pro SI motor.

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



Abstract 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 demonstrated on simple HW demo. The work focused on a development of a test-box suitable for testing of rCube2 modules continues.

[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.

[3]: Engine testbed workplaces have passed accreditation procedure. Installation of additional technology and measuring equipment is underway.

[4]: Development and testing of control algorithms continue in MATLAB/Simulink environment with Target link extensions. Real testing is conducted by dSpace Autobox tools. Initial tests on Zetor engine have been taken place.

[5]: Development of numerical optimization algorithms for implementation of MPC controllers for ECU fit. Specification of individual components for SI engine modeling. Development of numerical algorithms for engine model identification.

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

