Popis obsahu balíčku 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 cíle balíčku a jeho plnění za dobu projektu

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

Tyto cíle byly úspěšně realizovány:

- Podařilo se vyvinout modulární řídicí strategie
- Vybrané strategie byly implementovány do prototypových řídicích jednotek a ověřeny na brzdových stanovištích, případně také ve vozidle
- Byly vyvinuty nové procesy a SW nástroje pro urychlení vývoje pokročilých algoritmů řízení a jejich integraci do řídicích jednotek
- Vzniklo několik prototypových vzorků

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

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

Milník WP20M02 splatný pro 2017

- Unifikovaná 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, 2, 3, 4, 5]
- Řídicí strategie pro dieselové motory, optimalizovaný software pro řízení a komunikaci s přídavnými zařízeními na dodatečnou úpravu výfukových zplodin [4]
- Zobecněná metodika pro implementaci pokročilých řídicích algoritmů do „embedded" aplikací. Předpokládané zkrácení vývojového času o 20 %. [1, 2, 3, 4, 5]

Přehled splatných výstupů/výsledků pro 2017 a jejich plnění

- **WP20V009 (G):** Nástroj plánování experimentů a identifikačních algoritmů pro rychlé vytváření nelineárních prediktivních a simulačních modelů [2]
- **WP20V010 (G):** Funkční prototyp ECU pro vznětový motor [4]
- **WP20V010 (G):** Unifikovaná řídicí strategie pro dieselové motory, optimalizovaný SW pro řízení a komunikaci s přídavnými zařízeními na dodatečnou úpravu výfukových zplodin [4]
- **WP20V011 (G):** Základní řídicí strategie pro vznětové, zážehové a hybridní pohonné systémy a relevantní experimentální data [1, 2, 3]
- **WP20V012 (R):** Unifikovaný proces a nástroje pro návrh integrovaných optimálních řídicích strategií pro spalovací motory [1-5]
- **WP20V013 (R):** Zobecněná metodika pro implementaci pokročilých řídicích algoritmů do „embedded" aplikací [1-5]

<u>Všechny milníky/cíle/výstupy/výsledky balíčku WP20 byly splněny</u>

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

Přehled aktivit pro 2017

WP20A15: Vývoj optimalizace experimentů a simulací pro rychlou ident. pred. modelů [2, 3]
WP20A18: Rozšíření základní řídící strategie pro spalovací motory o hybridní prvky [1]
WP20A19: Ověření činnosti řídicích strategií [1 - 5]
WP20A20: Vývoj SW nástrojů a procesů [1 - 5]
WP20A21: Testování SW nástrojů a procesů [1 - 5]

Dílčí cíle pro 2017

WP20C10: Základní řídicí strategie pro vznětové, zážehové a hybridní pohonné systémy [1, 2, 3]
WP20C11: Unifikovaný proces a nástroje pro návrh integrovaných optimálních řídicích strategií pro spalovací motory [1 - 5]
WP20C12: Funkční prototyp ECU pro vznětový motor [4]
WP20C13: Zobecněná metodika pro implementaci pokročilých řídicích algoritmů do ‘embedded’ aplikací [1 - 5]

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

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

WP20V009: Nástroj plánování experimentů a identifikačních algoritmů pro rychlé vytváření nelineárních prediktivních a simulačních modelů – funkční vzorek [2]

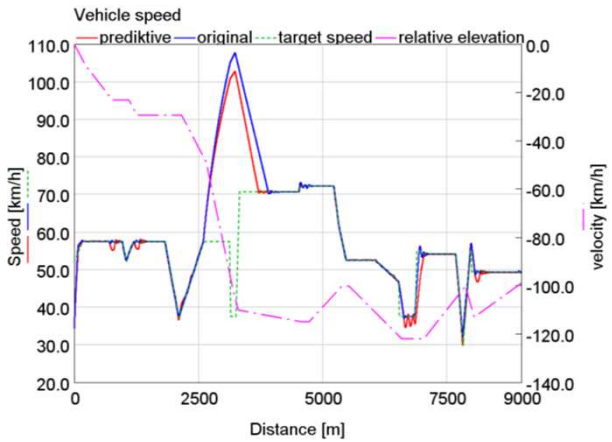
Zkoumány a implementovány postupy pro vytvoření prediktivních modelů, které vycházejí z reálných podmínek

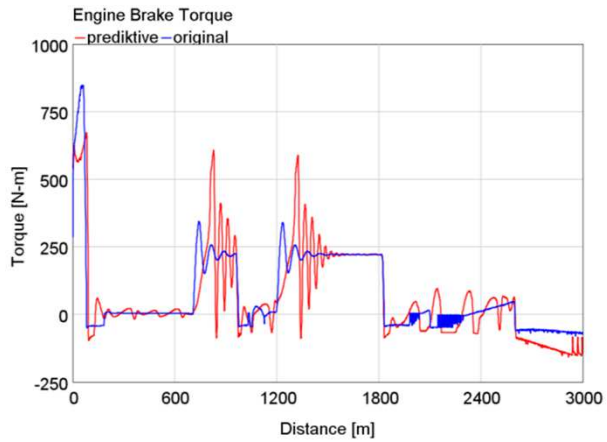
Návrh řízení na základě reálných okolností

- Chování pohonného systému vozidla dle průběhu jízdy (GT-Power simulace vs. experiment)
- V simulaci použit prediktivní model částí pohonného systému vozidla (LOLIMOT)
- Stavový a po částech lineární model
- Model Predictive Control (real-time s omezeními, kvadratické programování)

Dosaženo realistické chování prediktivních modelů částí vozidla

Vybrané algoritmy integrovány do rCube2 řídicí jednotky a testovány na brzdovém stanovišti





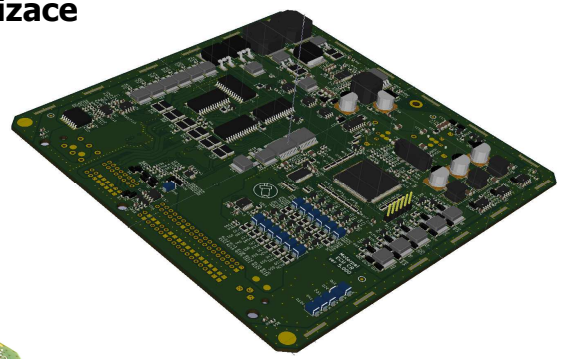
Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

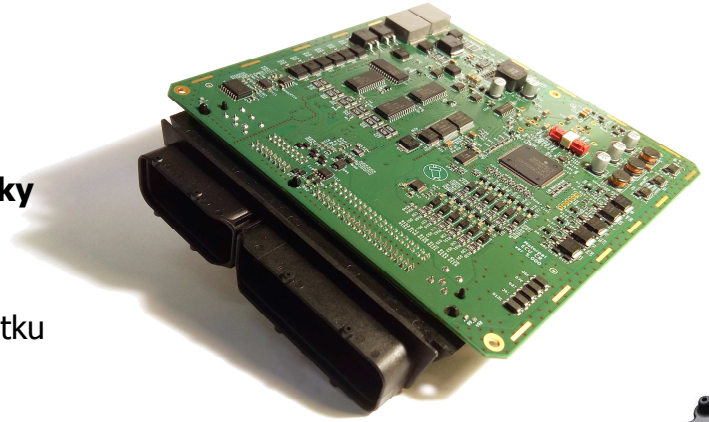
Plnění cílů, milníků a výstupů, splněné výsledky balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

WP20V010: Funkční prototyp ECU pro vznětový motor [4]

Funkční prototyp ECU pro vznětový motor, návrh hardware ECU a její realizace

- Návrh nové verze HW ECU
- Nový mikro-kontrolér
- Vyšší výpočetní výkon
- Větší RAM i FLASH
- Rozšíření diagnostiky
- Obvodové optimalizace





Vyrobený prototyp řídící jednotky

- Optimalizace EMC
- Práce na nových ovladačích
- Prototyp bude odpovídající odlitku

Nový návrh skříně ECU

- Optimalizace chladící plochy
- Navazující měření tepelného managementu
- Zaměření i na design

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

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

WP20V010: Unifikovaná řídicí strategie pro dieselové motory, optimalizovaný SW pro řízení a komunikaci se zařízeními na úpravu výfukových plynů [4]

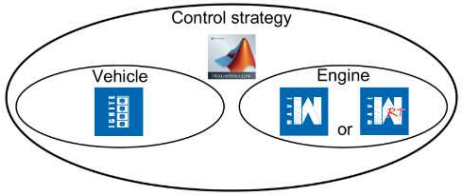
Implementace řídicí strategie do funkčního vzorku a její testování

- Vyvinuté komponenty řídicí strategie v prostředí MATLAB / Simulink z předchozí fáze projektu byly integrovány dohromady a integrovány do funkčního vzorku řídicí jednotky
- Funkční vzorek ECU byl nasazen pro ověření koncepce na traktor
- Veškerá data vysílaná po CANu jsou za provozu logována a průběžně vyhodnocována
- Testovací traktor má nyní najeto >350 hodin v reálném provozu

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

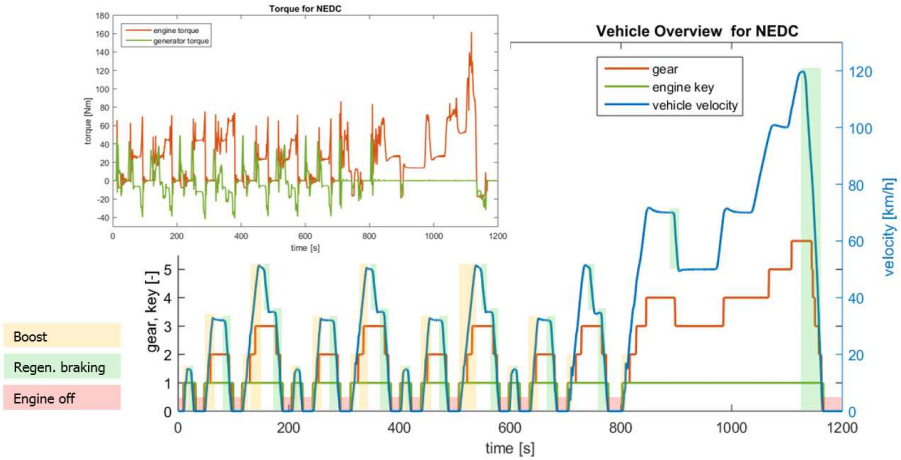
Plnění cílů, milníků a výstupů, splněné výsledky balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

WP20V011: Základní řídicí strategie pro vznětové, zážehové a hybridní pohonné systémy a relevantní experimentální data [1, 2, 3]

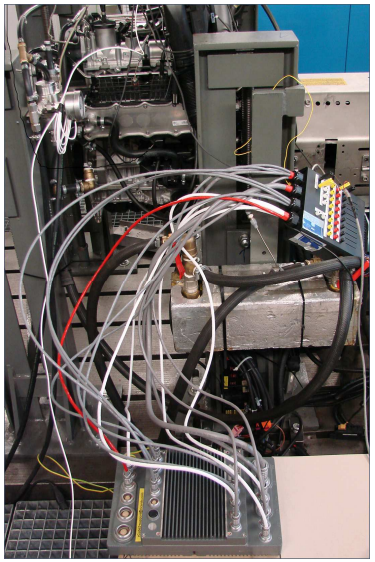


- Unifikovaná řídicí strategie pro vznětové a zážehové motory byla rozšířena o hybridní prvky v prostředí MATLAB / Simulink
- Modely motorů (IVECO, VW) byly vytvořeny v SW nástroji WAVE / WAVE-RT
- Modely vozidel byly vytvořeny v SW nástroji IGNITE (synergie s WP05)
- Vývoj algoritmů řízení proběhlo v kosimulaci tří SW nástrojů: Simulink, WAVE / WAVE-RT a IGNITE
- Vybrané vyvinuté algoritmy řízení byly integrovány do 'rapid prototyping ECU: rCube2' a úspěšně testovány na brzdových stanovištích ve VTP Roztoky

Příklad výsledků ze simulace v případě rozšíření základní řídicí strategie pro spalovací motory o hybridní prvky



Brzdové stanoviště s rCube2 a benzínovým motorem VW 1.4 TSI

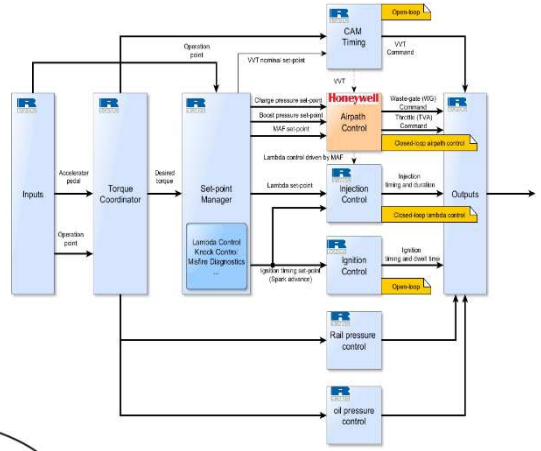


Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

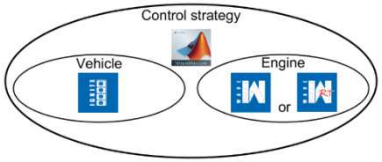
Plnění cílů, milníků a výstupů, splněné výsledky balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

WP20V012: Unifikovaný proces a nástroje pro návrh integrovaných optimálních řídicích strategií pro spalovací motory [1-5]

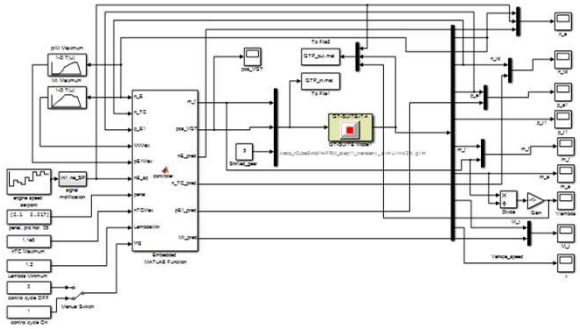
OnRAMP MPC (Model Predictive Control) toolchain



Kosimulace Simulink a IGNITE a WAVE/WAVE-RT pro návrh algoritmů, kalibraci, optimalizaci a testování v MiL



Kosimulace Simulink a GT-Power pro návrh algoritmů, kalibraci, optimalizaci a testování v MiL



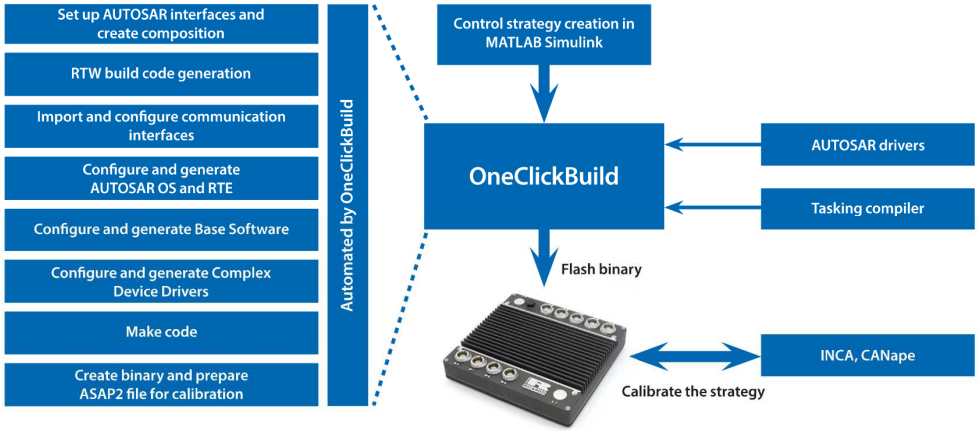
Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

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

WP20V013: Zobecněná metodika pro implementaci pokročilých řídicích algoritmů do „embedded" aplikací [1-5]

Vyvinutá metoda pro urychlení implementace byla úspěšně ověřena při integraci algoritmů řízení vzniklých na pracovištích Ricardo, ČVUT/FS a Honeywell

OneClickBuild (OCB): Automated build environment for rCube2 ECU



OneClickBuild (OCB) toolchain

- Vyvinut proces pro automatizované generování spustitelného kódu do řídicí jednotky rCube2
- C-kód je generován z blokového zapojení Simulink, kde je navržen a odladěn řídicí algoritmus
- Podpora standardu AUTOSAR
- Značná úspora času při vývoji, testování a kalibraci algoritmů řízení
- Metoda použita v WP02 (výzkumné práce na experimentálním jednoválci ve VTP Roztoky)
- Metoda používána a dále rozvíjena v projektech s rCube2 ECU

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

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

Prezentační a publikační činnost v roce 2017:

- B. Hnilicka, F. Bradac, A. Kouba, J. Jenc, V. Myslivec, J. Navratil: *Realistic real-time engine sound generation using WAVE-RT on ARM platform*, Ricardo Software UserCon Europe, March 2017

- A. Kouba, J. Navratil and B. Hnilicka: *Downsized Gasoline Engine Cylinder Deactivation MiL Development and Validation using Real-Time 1-D Gas Code*
  - Akceptován abstrakt pro konferenci: „SAE World Congress Experience 2018"

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

Zhodnocení dopadu výsledků balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Celkové zhodnocení dopadu výsledků a jejich průběžná i budoucí realizace

Obecně využitelné souvislosti mezi WPs:

- 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
- Synergie s balíčkem WP06 zabývající se optimalizací činnosti turbodmychadel a jejich použití v komplexních řídicích algoritmech
- Synergie s balíčkem WP25 zabývající se pokročilými zkušebními metodami pro spalovací motory a hnací řetězec
- Synergie s balíčkem WP05 zabývající se simulací systémů a strategie řízení za účelem optimalizace celkové spotřeby energie a produkovaných emisí
- Synergie s balíčkem WP02, kde probíhá vývoj na jednoválci s rCube2 (pokročilé systémy pro přípravu směsi a spalování připravené směsi s vysokou účinností a nízkou emisí škodlivin)

Výhled dalších prací, případně návaznost dalších projektů:

- Partneři zvažují další spolupráci
- Využití výsledků:
  - V komerčních projektech
  - V běžících nebo budoucích R&D projektech (např. Horizon 2020 – ECOCHAMPS, HDGAS; TAČR – Národní centra kompetence 1)

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

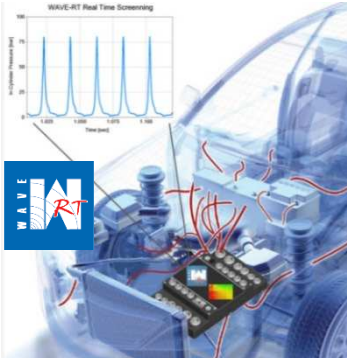
Poděkování

- Ricardo Prague s.r.o. a další členové balíčku WP20 děkují společnosti ŠKODA AUTO a.s. (WP10) za zapůjčení motoru ŠKODA (VW) 1.4 TSI

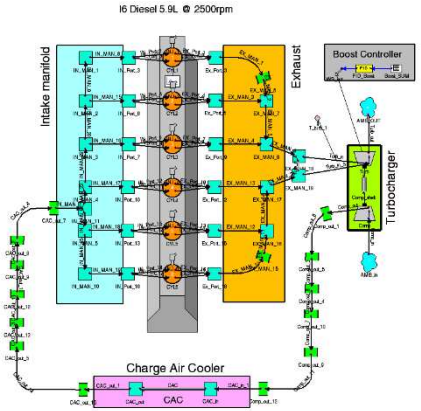
Děkuji za pozornost

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

Výtah z provedených prací 2012-2017 na WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

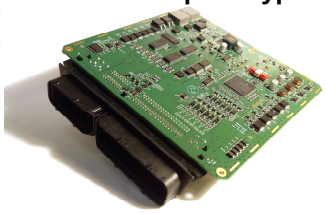


WAVE-RT v reálném čase v jednotce rCube2 [1, 3]

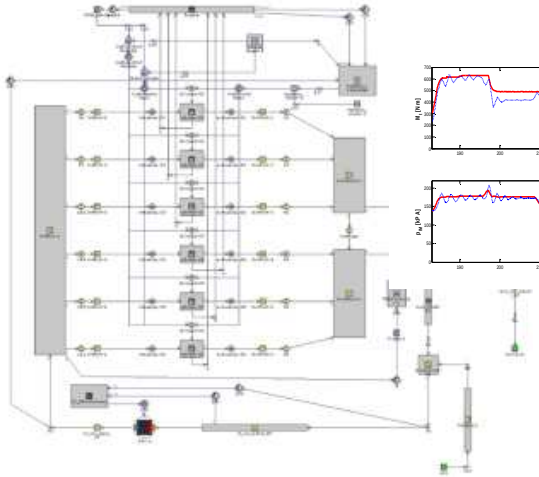


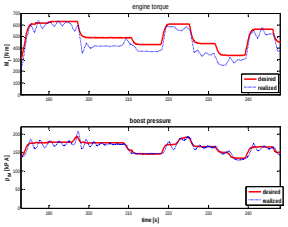
WAVE-RT model [1, 3]

Funkční prototyp ECU pro vznětový motor [4]

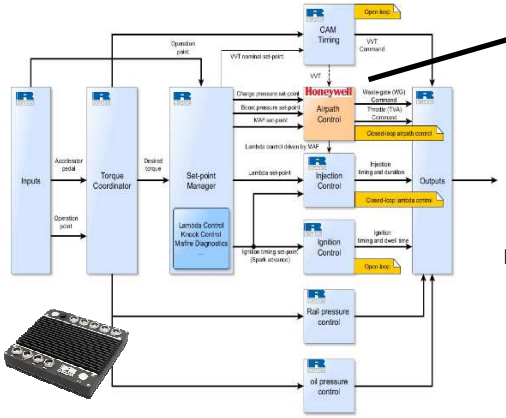


Testovací stanoviště s rCube2 a benzínovým motorem [1, 2, 3, 5]



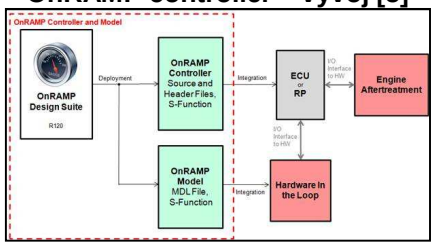


Prediktivní řízení spalovacího motoru s GT-Power modelem [2]

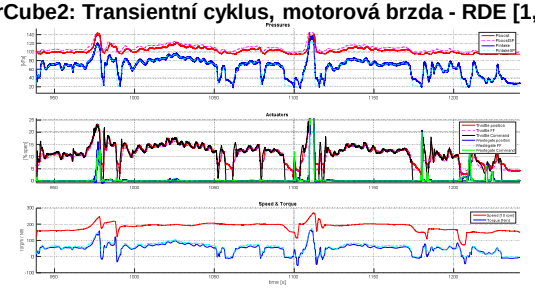


Modulární řídicí strategie s možností integrace komponent třetích stran [1, 2, 3, 5]

OnRAMP controller – vývoj [5]



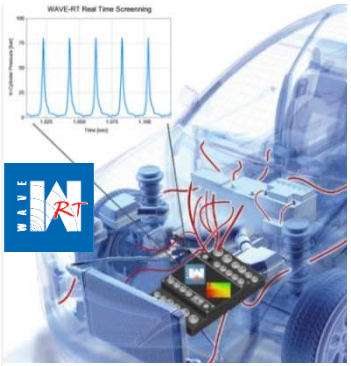
MPC v rCube2: Transientní cyklus, motorová brzda - RDE [1, 5]



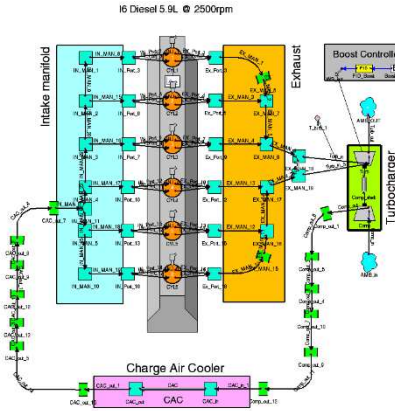
Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Bohumil.Hnilicka@ricardo.com
Za WP 20 B. Hnilička, Ricardo Prague s.r.o.

Abstract 2012-2017 of WP20: Engine predictive or adaptive flexible control for minimum fuel consumption and pollutant emissions

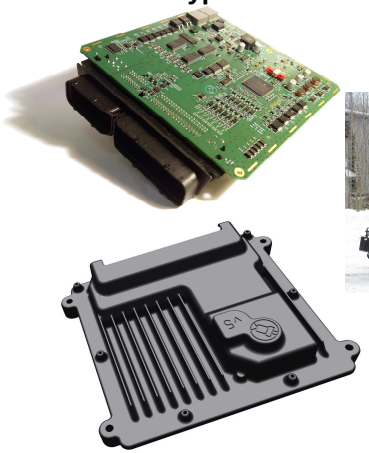


WAVE-RT running real-time in rCube2 [1, 3]

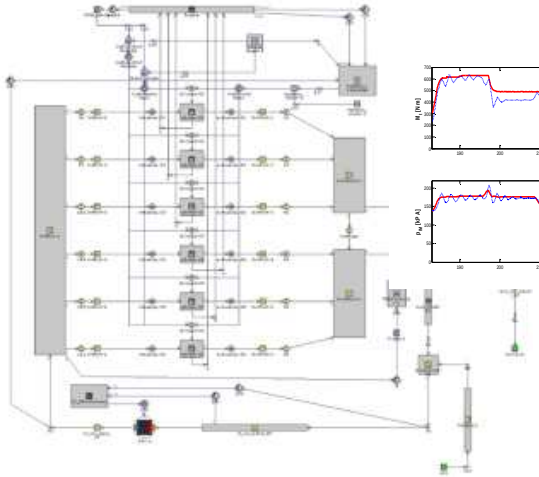


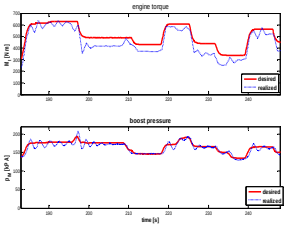
WAVE-RT model [1, 3]

Prototype of ECU – diesel application [4]

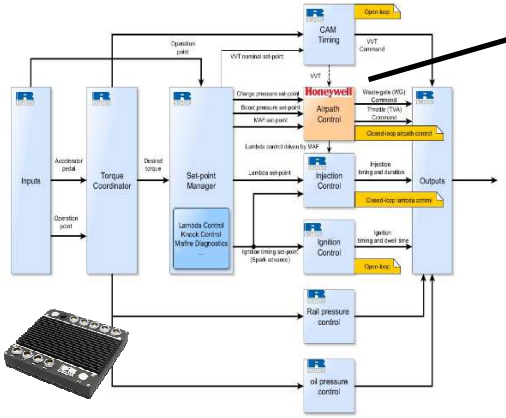


Testbed configuration with rCube2 and gasoline engine [1, 2, 3, 5]



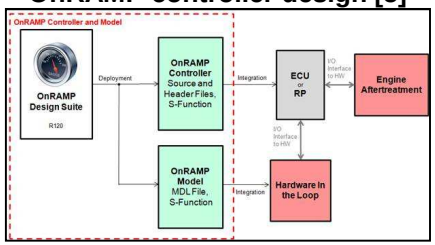


Predictive control of combustion engine using GT-Power model [2]

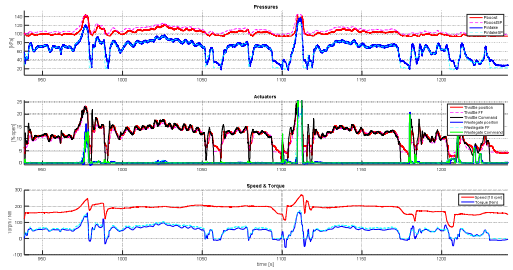


Modular control strategy with possibility to use 3rd party components [1, 2, 3, 5]

OnRAMP controller design [5]



MPC in rCube2: Transient drive cycle, testbed - RDE [1, 5]



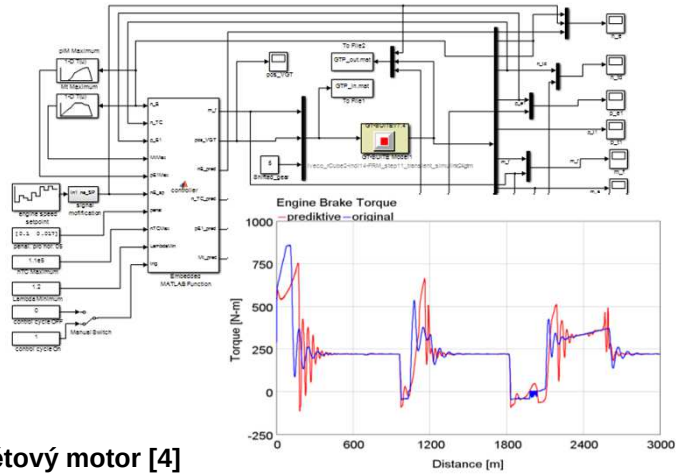
Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Bohumil.Hnilicka@ricardo.com
Za WP 20 B. Hnilička, Ricardo Prague s.r.o.

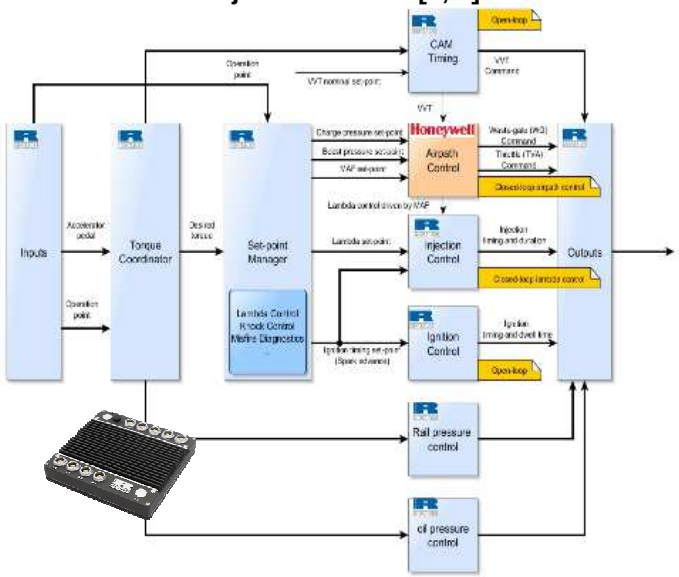
Výtah z provedených prací za rok 2017 na WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

Testovací stanoviště s rCube2 a benzínovým motorem [1, 2, 3, 5]

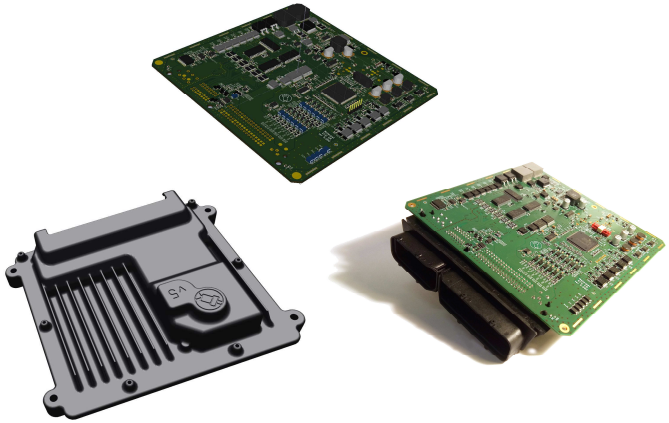
GT-Power model pro testování algoritmů v MIL [2]



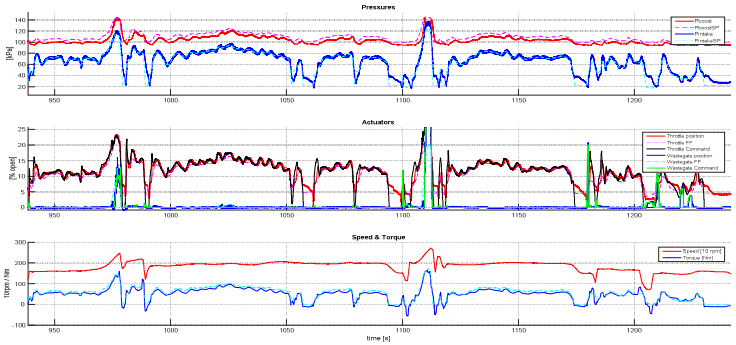
Integrace OnRAMP kontroléru vzduchové cesty a jeho testování [1, 5]



Funkční prototyp ECU pro vznětový motor [4]



MPC in rCube2: Transientní cyklus, motorová brzda - RDE [1, 5]



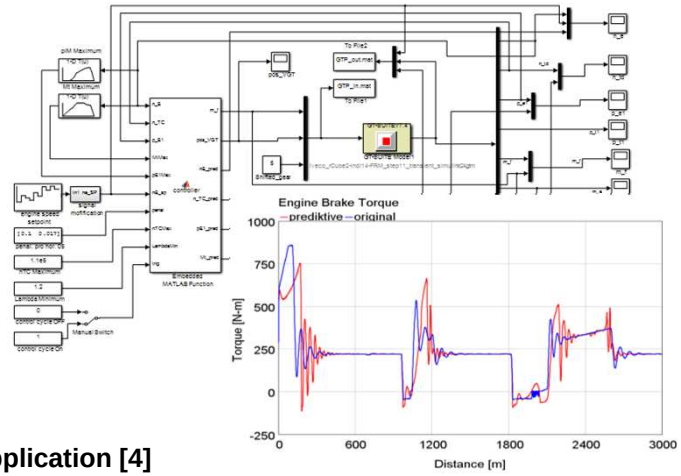
Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Bohumil.Hnilicka@ricardo.com
Za WP 20 B. Hnilička, Ricardo Prague s.r.o.

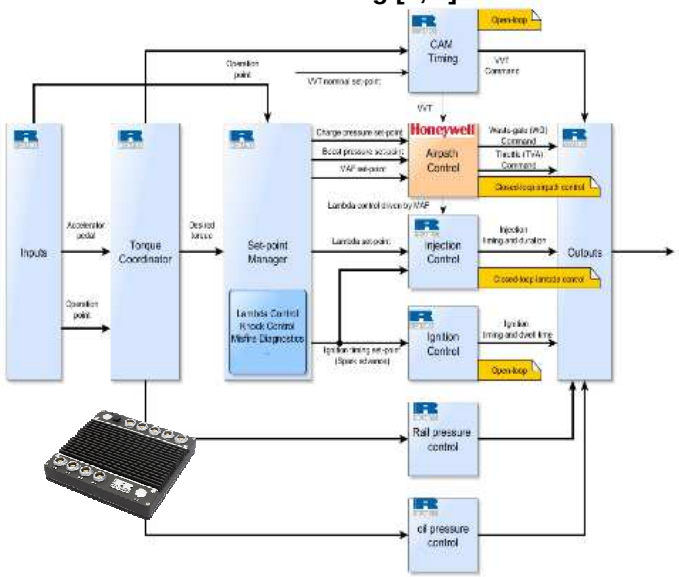
Abstract 2017 of WP20: Engine predictive or adaptive flexible control for minimum fuel consumption and pollutant emissions

Testbed configuration with rCube2 and gasoline engine [1, 2, 3, 5]

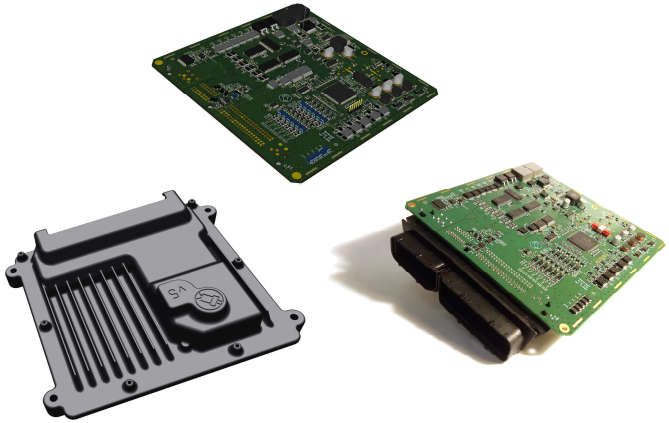
GT-Power model suitable for developed algorithms testing in MIL [2]



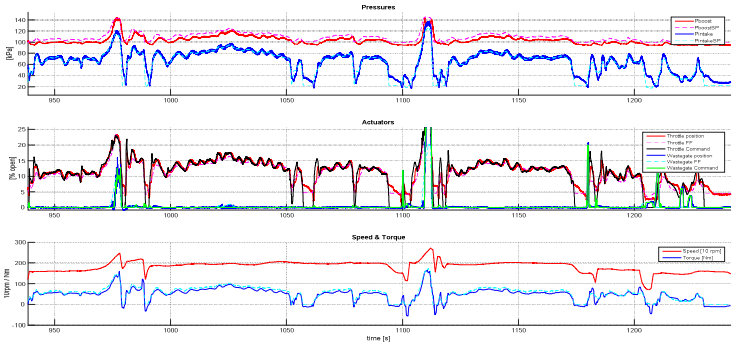
Integration of OnRAMP airpath controller and testing [1, 5]



Prototype of ECU – diesel application [4]



MPC in rCube2: Transient drive cycle, testbed - RDE [1, 5]



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

Bohumil.Hnilicka@ricardo.com
Za WP 20 B. Hnilička, Ricardo Prague s.r.o.