

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. (2016 - restrukturalizace podniku) – 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

Experimenty s řídicími systémy na zkušebnách, rozšíření řídicích systémů o hybridní prvky, implementace vyvinutých algoritmů do prototypových řídicích jednotek, jejich testování v SIL, HIL a na zkušebnách.

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 milníky: Pro 2016 nejsou plánovány žádné milníky

Dílčí milníky pro nejbližší období

WP20M02: Odpovídá dosažení WP20V010, WP20V011, WP20V012, WP20V013. [1,2,3,4,5] – dosažení 12/2017

Aktuální výstupy

WP20V008: Integrovaný návrh řídicího systému pro přepínávané zážehové motory [5] – funkční vzorek - **dosažení 12/2016**

WP20V009: Nástroj plánování experimentů a identifikačních algoritmů pro rychlé vytváření nelineárních pred. a simulačních modelů - publikace [2] – **dosažení 12/2016**

Dílčí výstupy pro nejbližší období

WP20V008: Integrovaný návrh řídicího systému pro přepínávané zážehové motory [4] – dosažení 12/2016

WP20V009: Nástroj plánování experimentů a identifikačních algoritmů pro rychlé vytváření nelineárních pred. a simulačních modelů - funkční vzorek [2] – dosažení 06/2016

WP20V010: Funkční prototyp ECU pro vznětový motor. [4] – dosažení 12/2017

WP20V011: Základní řídicí strategie pro vznětové, zážehové a hybridní pohonné systémy [1,2,3] – dosažení 12/2017

WP20V012: Unifikovaný proces a nástroje pro návrh integrovaných opt. řídicích strategií pro spal. motory [1,2,3,4,5] – dosažení 12/2017

WP20V013: Zobecněná metodika pro implementaci pokročilých řídicích algoritmů do 'embedded' aplikací [1,2,3,4,5] – dosažení 12/2017

Dílčí cíle pro nejbližší období

WP20C08: Integrovaný návrh řídicího systému pro přepínávané zážehové motory [4] – dosažení 12/2016

WP20C09: Pokročilý koncept optimalizace experimentů a identifikačních algoritmů pro rychlé vytváření nelineárních prediktivních a simulačních modelů [2] – dosažení 12/2016

WP20C10: Základní řídicí strategie pro vznětové, zážehové a hybridní pohonné systémy [1,2,3] – dosažení 12/2017

WP20C11: Unifikovaný proces a nástroje pro návrh integrovaných optimálních řídicích strategií pro spalovací motory [1,2,3,4,5] – dosažení 12/2017

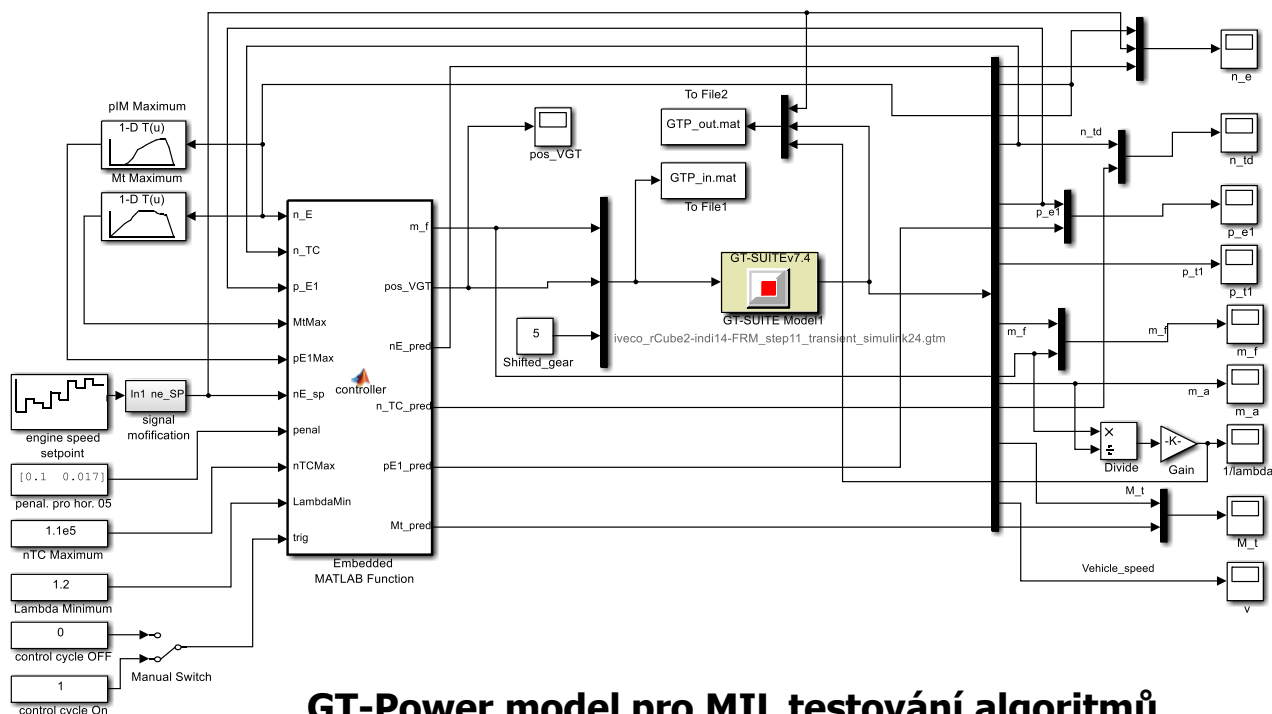
WP20C12: Funkční prototyp ECU pro vznětový motor [4] – dosažení 12/2017

WP20C13: Zobecněná metodika pro implementaci pokročilých řídicích algoritmů do 'embedded' aplikací [1,2,3,4,5] – dosažení 12/2017

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

WP20A12: Výzkum a vývoj strategií řízení motoru s komplex. strukt. a koordinace říd. smyček [2]

- Zkoumány a implementovány nové metody on-line implementace kvadratického programování pro zohlednění omezujících podmínek v jednotlivých řídicích smyčkách v regulátoru
- Algoritmy testovány v MIL režimu s použitím modelu v GT-Power
- Algoritmy implementovány do řídicího hardware rCube2



GT-Power model pro MIL testování algoritmů

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

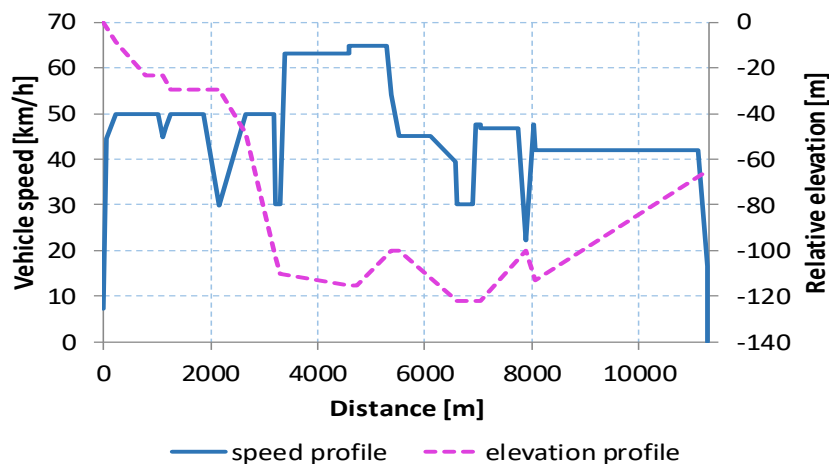
Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

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

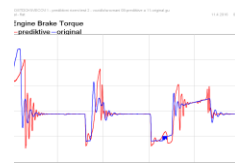
- Kombinace experimentů, simulace identifikovaných 1-D a RT modelů pro identifikaci prediktivních modelů
- Prediktivní modely nelineární, lokálně linearizované
- Východiskem simulační model vozidla a jízdy pro generování realistických režimů pro motor
- Uvažovaná například optimalizace rychlostního profilu z pohledu spotřeby
- **V roce 2016 je k této aktivitě výsledek publikace v recenzovaném časopise, která je připravována.**

WP20V009: Nástroj plánování experimentů a identifikačních algoritmů pro rychlé vytváření nelineárních pred. a simulačních modelů - publikace (ČVUT FS) 12/2016

- Navazující funkční vzorek pak je naplánován v příštím roce (2017).



Ukázka průběhu testovací jízdy



Ukázka průběhů momentu pro trénování

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 pro ověření řídicích strategií jednotlivých účastníků na zkušebnách (Brno, Roztoky u Prahy)
- ARM automotive procesor byl úspěšně použit pro běh WAVE-RT modelu (VW 1.4 litre TSI) v rCube2 ECU [1]

WP20A19: Ověření činnosti řídicích strategií. [1, 2, 3, 4, 5]

- Probíhá ověření řídicích strategií jednotlivých účastníků v MIL, SIL a HIL

WP20A20: Vývoj SW nástrojů a procesů. [1, 2, 3, 4, 5]

- Probíhají práce na vytváření SW nástrojů a procesů pro implementaci WAVE-RT modelů a dalších algoritmů ostatních účastníků balíčku

WP20A21: Testování SW nástrojů a procesů. [1, 2, 3, 4, 5]

- Probíhá testování některých SW nástrojů a procesů, další testování bude následovat s jejich postupným vývojem.

Pozn.: Aktivita na WP20 firmy MOTORPAL jsou v roce 2016 pozastaveny z důvodu restrukturalizace podniku. Tato skutečnost nemá zásadní dopad na souběžné práce v rámci balíčku WP20.

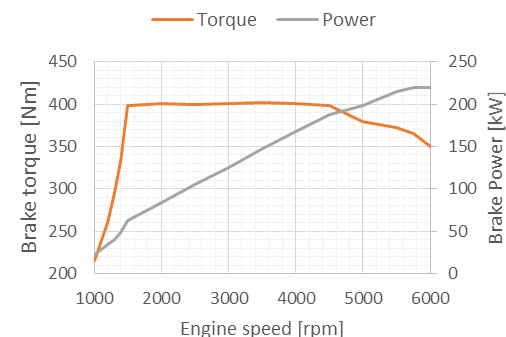
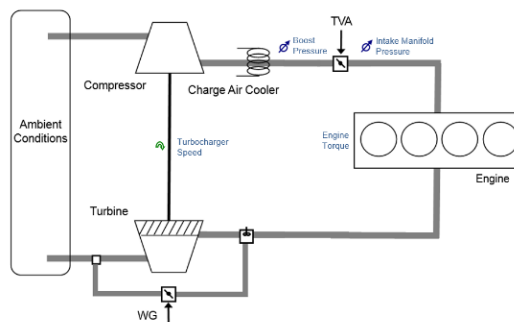
Variants Explored with OnRAMP airpath control [5]

Engine	Turbocharger	Control Strategy	Actuators	GT-Power / WAVE	Test Cell
Honeywell 2.0L	GT2256	Boost	WG Throttle	✓	✓
Honeywell 2.0L	GT2256	Torque	WG Throttle	✓	✓
Honeywell 2.0L	MGT1756	Boost	WG Throttle	Not Required	✓
VW 1.4L	XXX	Boost	WG Throttle	In progress	In progress

Legenda: [1] – Ricardo, [2] – CVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORP.

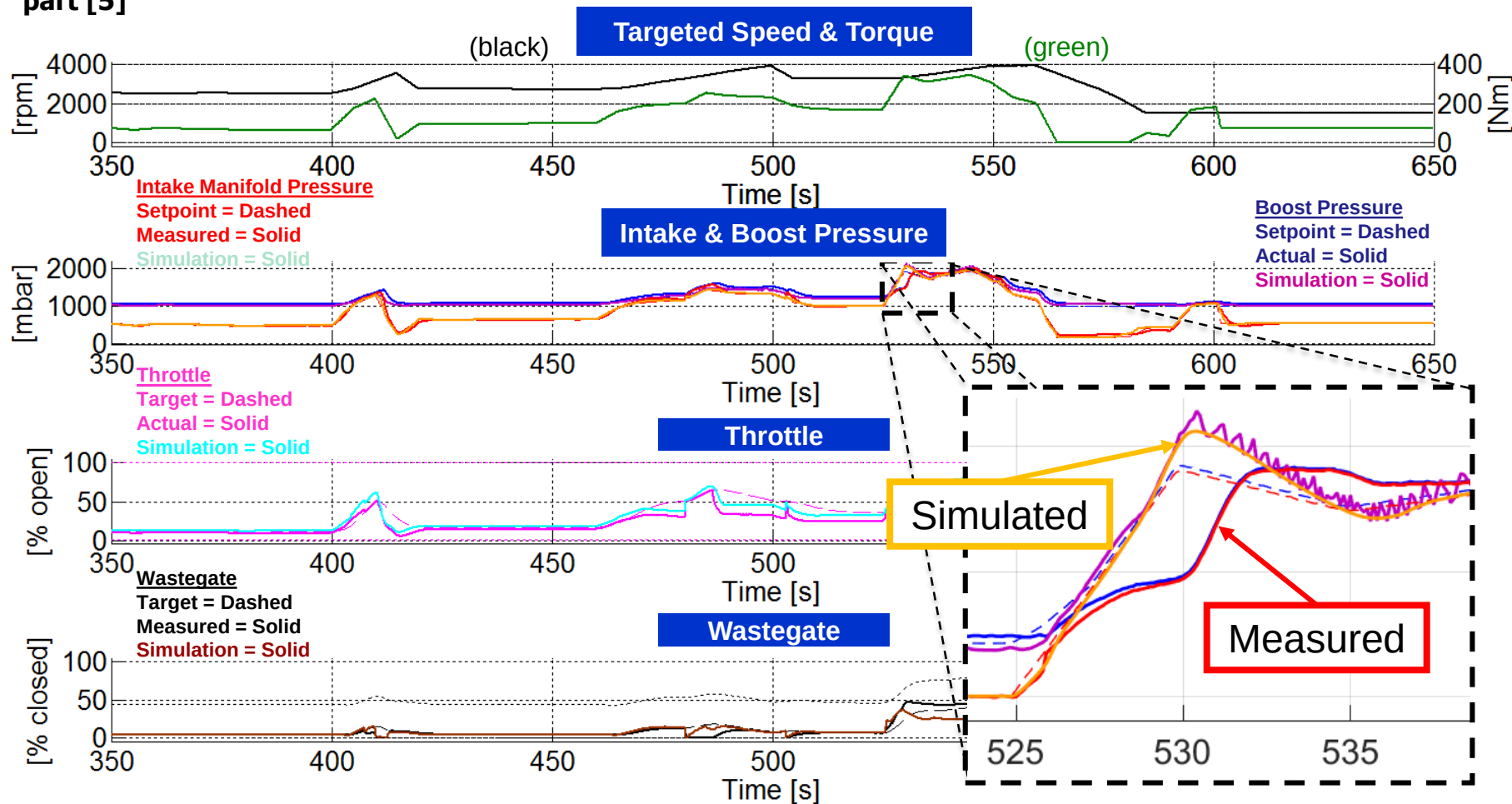
Honeywell 2.0 L gasoline direct injection engine

Peak output of 220 kW / 400 Nm, Inline 4-cylinder configuration
Twin scroll turbocharger, Pneumatic waste-gate actuation
Charge air cooler, Variable intake cam timing



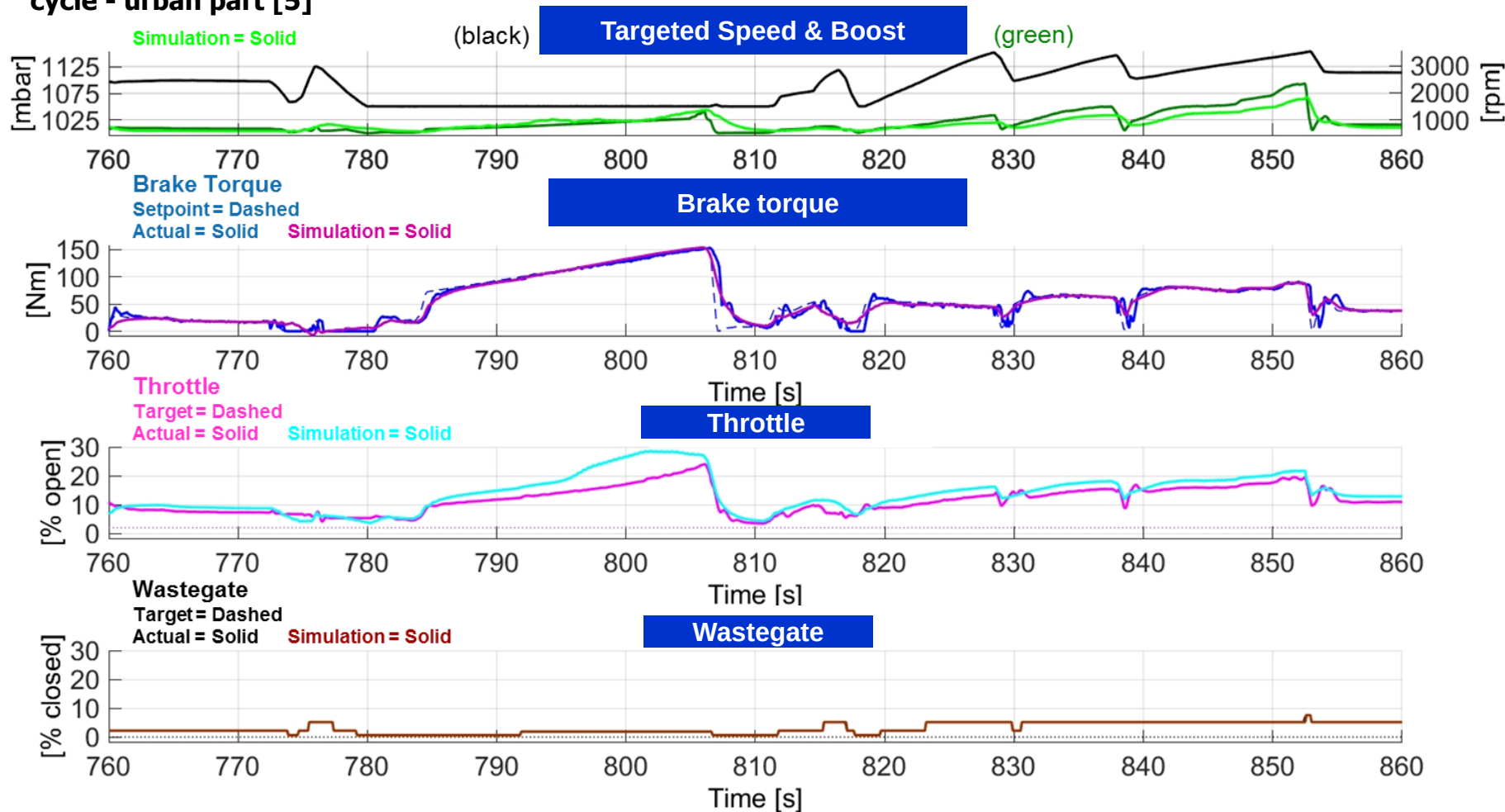
Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

OnRAMP MPC Capabilities Validated: On-engine validation – boost targeting, quasi NEDC cycle - extra urban part [5]



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

Boost & Torque Control Enabled Using OnRAMP MPC: On-engine validation, torque targeting, quasi NEDC cycle - urban part [5]

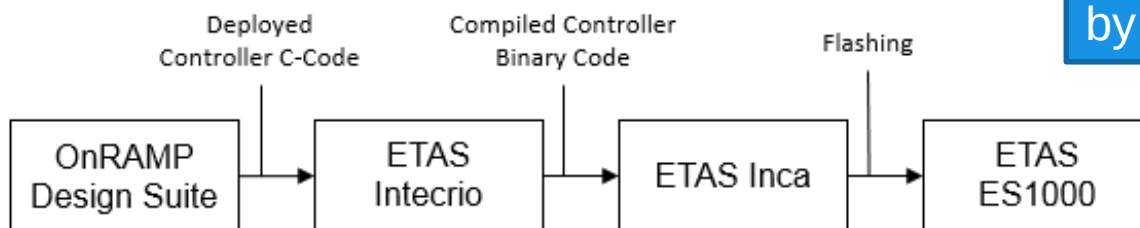


Popis plnění balíčku WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

On-Engine Validation [5]

OnRAMP Toolchain Developed and Validated on Real Hardware

- Both steady and transient tests
 - Quasi NEDC and WLTP cycles tested
 - Intake pressure or brake torque targeted by OnRAMP controller (measured torque corrected in order to eliminate inertial distortion)
- Engine tested on an active electric dynamometer
 - OnRAMP integrated on ETAS ES1000
 - Controller setup via Ethernet using ETAS Inca
 - Communication with the ECU over private CAN interface
 - Additional signals sent via CAN from the test cell (torque)



To be replaced
by rCube2

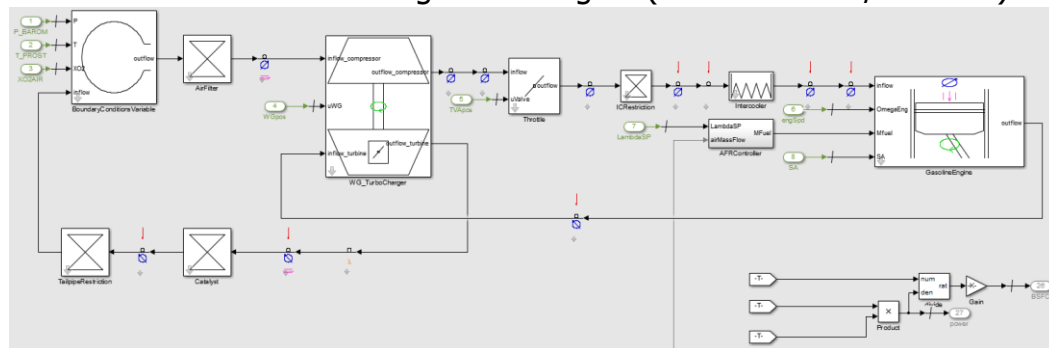
Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

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

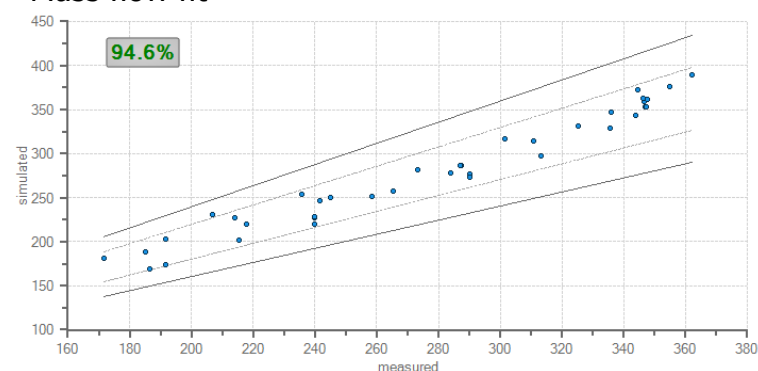
Modeling – steady state identification [5]

- Reasonable global fit for pressure, flow, lambda; temperatures fit poor due to some data inconsistencies
- Usable for the initial airpath controller design when applying global identification

OnRAMP model of VW 1.4 L gasoline engine (EA211 103kW / 250 Nm)



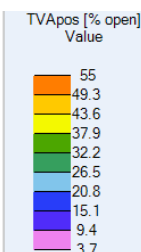
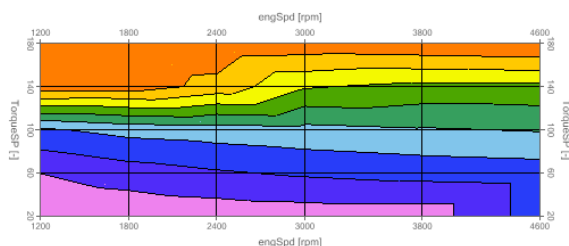
Mass flow fit



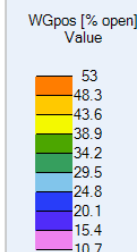
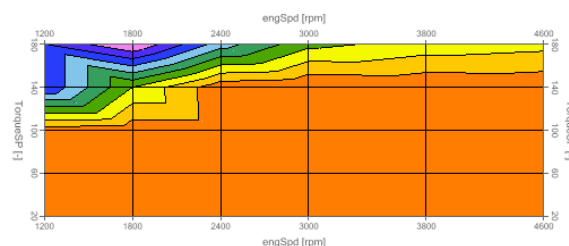
Setpoints calculation in OnRAMP [5]

Using steady-state optimization based on demanded torque and minimal fuel consumption, with turbocharger speed constraints, boost/intake pressure setpoints were found, along with actuator positions.

Throttle feedforward



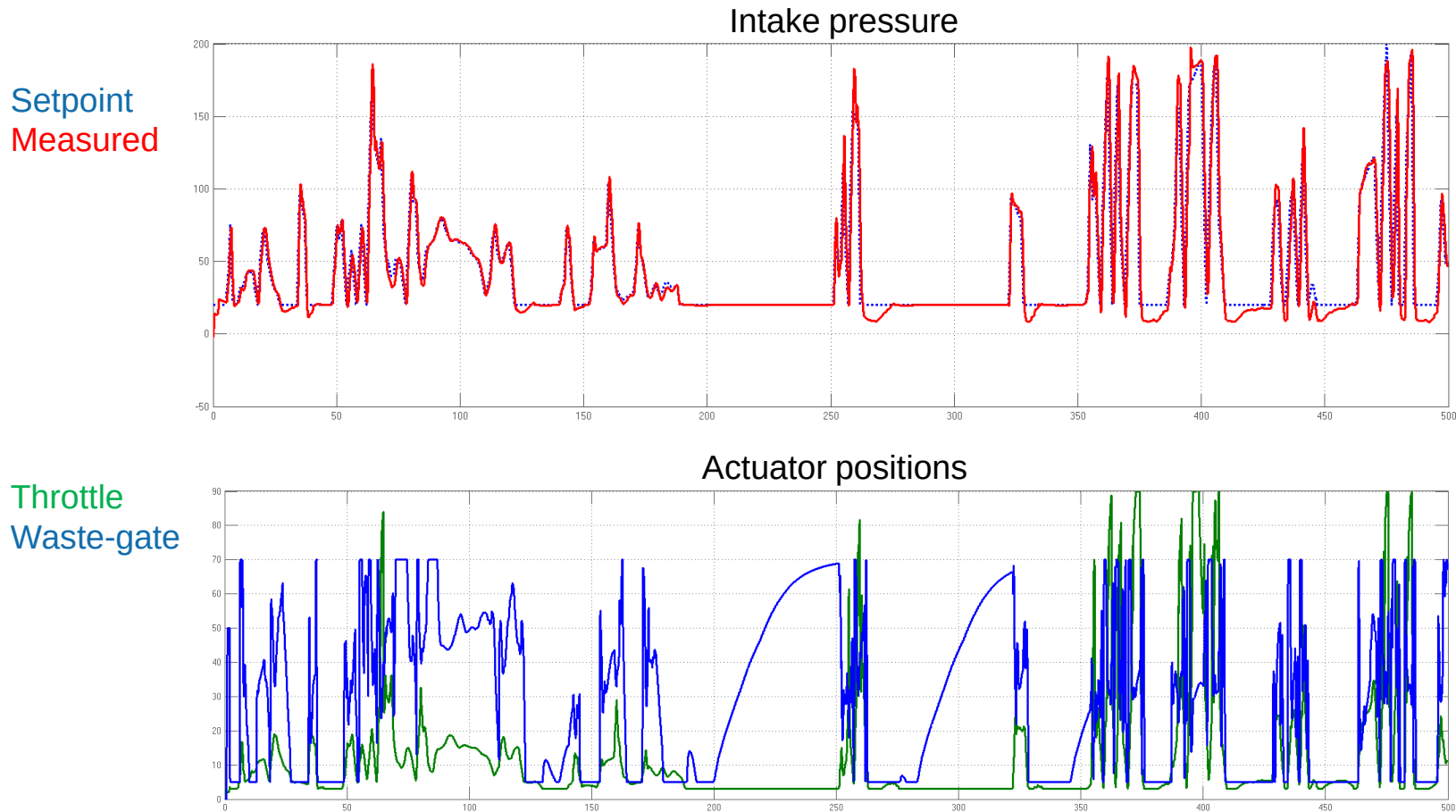
Waste-gate feedforward



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

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

WLTC cycle MIL performance [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

Summary [5]:

- Completed initial step of OnRAMP MPC engine control validation
 - Transient tests run in both test cell and co-simulation environments
 - A single controller used on both real and simulated engines
 - Proved flexibility to turbocharger hardware changes
 - Confirmed controls setup time advantage for complex systems
 - Utilized natural implementation of limits for various operating quantities
- Multi-platform hardware integration
 - OnRAMP C-code compile-able for various platforms (including ECU)
 - Tested on ETAS ES1000 rapid prototyping unit and Raspberry Pi
- Next steps of OnRAMP development
 - Evaluation of advanced concept turbocharging systems
 - Closed-loop functionality with vehicle model for fully-fledged driving cycle testing
- Honeywell 2.0 litre engine
 - MPC airpath controller successfully run on with 2 different turbocharges and different control strategies boost / torque in the test cell. -> Proves MPC to be scalable
- VW 1.4 litre TSI engine
 - Modeling in OnRAMP: Steady state identification completed. Awaiting transient data.
 - Initial airpath controller designed and simulated on Artemis drive cycle
- Next Steps
 - Perform the model identification using DoE data generated with WAVE-RT model
 - Design Airpath controller and tune with WAVE-RT, get valid transient data from test cell from rCube2

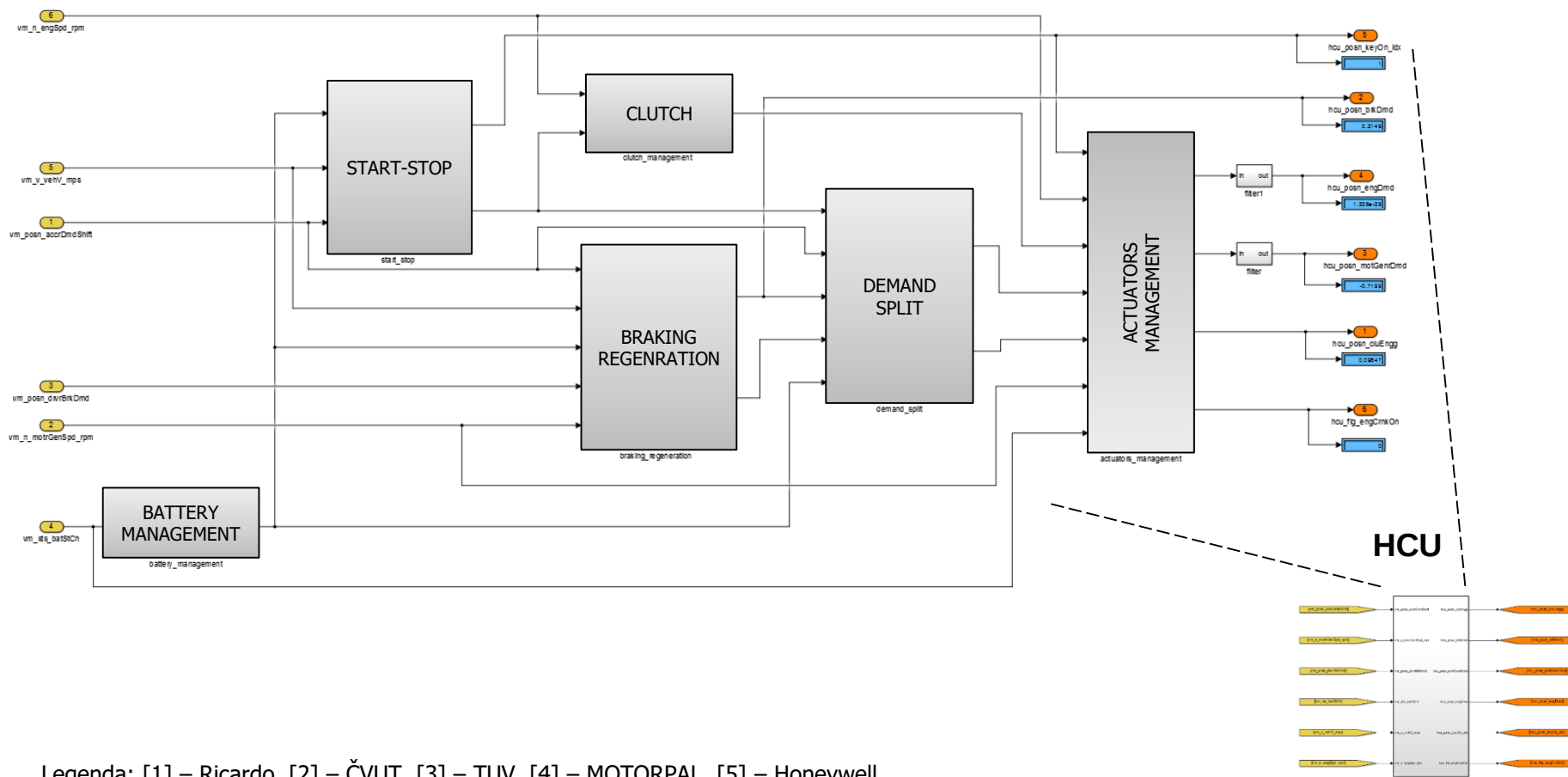
V roce 2016 je k těmto aktivitám výsledek WP20V008: Integrovaný návrh řídicího systému pro přepínávané zážehové motory [5] – funkční vzorek - dosažení 12/2016

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

WP20A18: Rozšíření základní řídicí strategie pro spalovací motory o hybridní prvky [1]

– Basic hybrid controller has been developed using MATLAB / Simulink

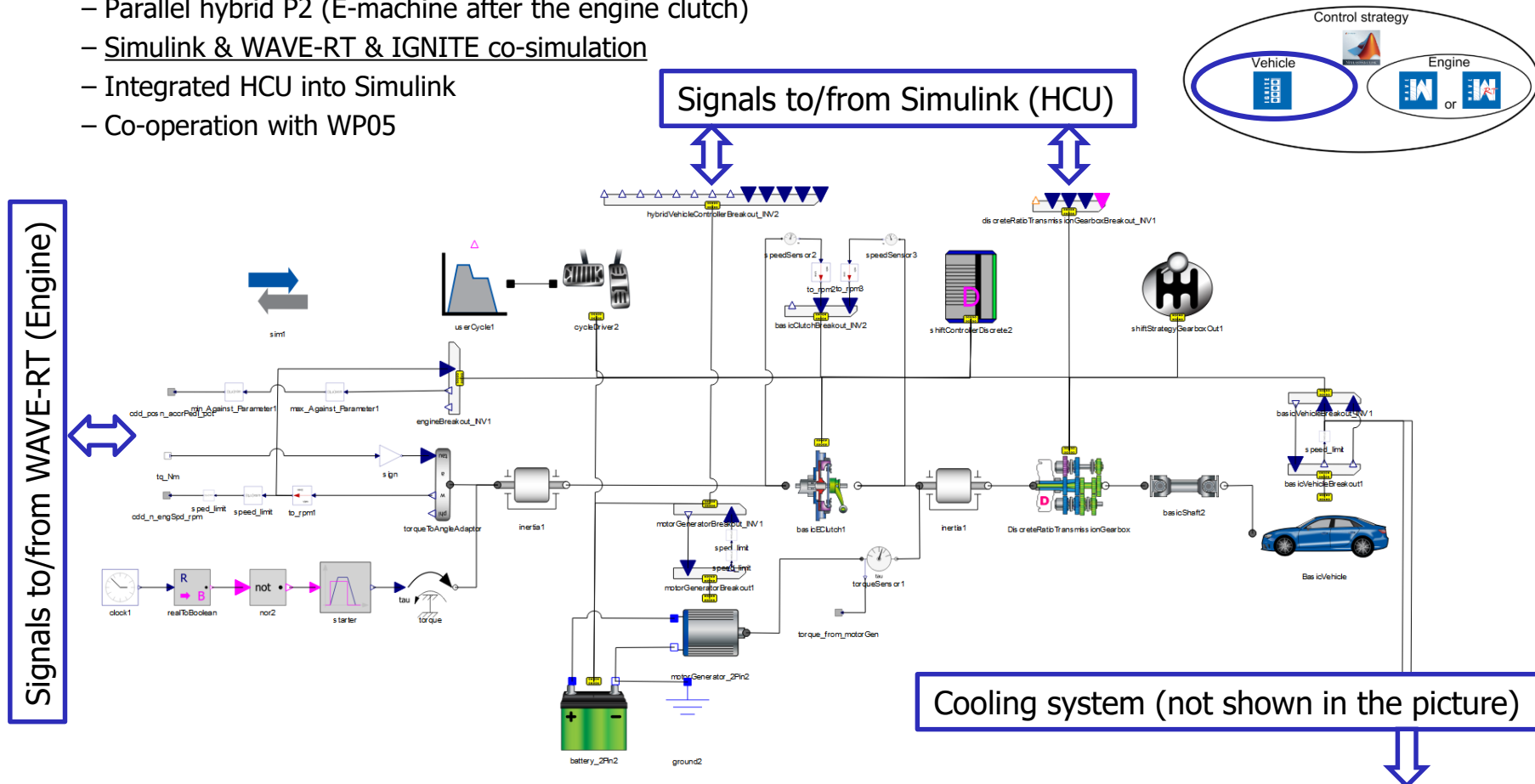


Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

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

WP20A18: Rozšíření základní řídicí strategie pro spalovací motory o hybridní prvky [1]

- Parallel hybrid P2 (E-machine after the engine clutch)
- Simulink & WAVE-RT & IGNITE co-simulation
- Integrated HCU into Simulink
- Co-operation with WP05



Signals to/from WAVE-RT (Engine)

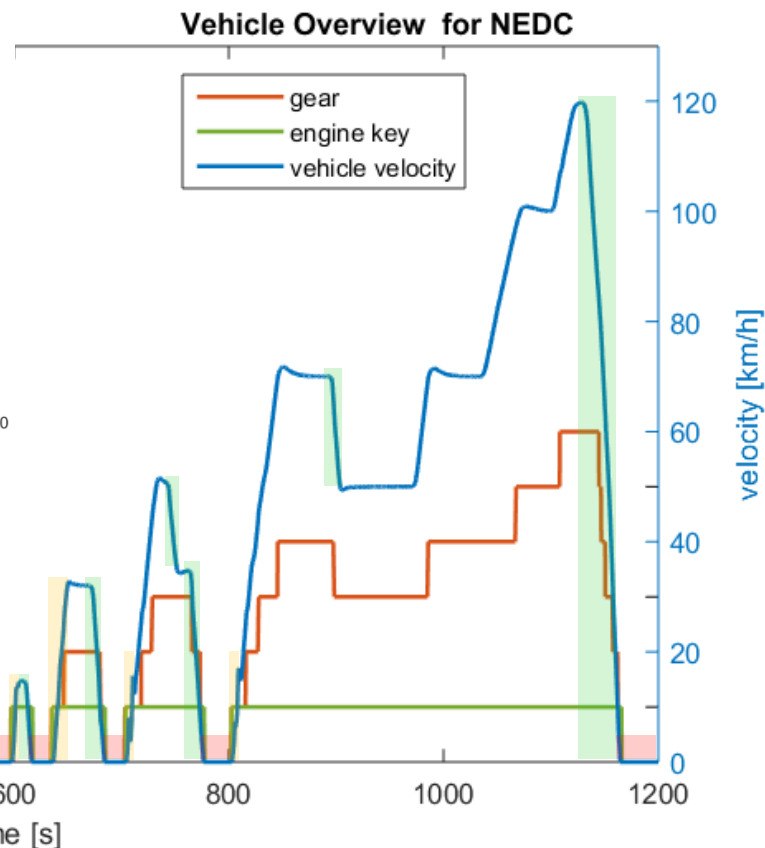
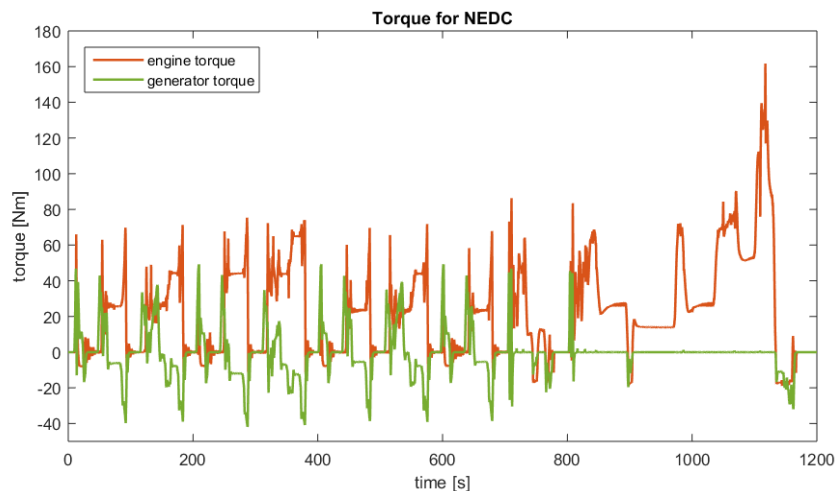
Cooling system (not shown in the picture)

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

WP20A18: Rozšíření základní řídicí strategie pro spalovací motory o hybridní prvky [1]

- Simulation results



Boost

Regen. braking

Engine off

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

Výstupy a výsledky pro konec roku 2016

WP20V008: (G) Integrovaný návrh řídicího systému pro přeplňované zážehové motory [5] - dosažení 12/2016

- Navržen soubor SW nástrojů pro integrovaný návrh řídicích systémů pro přeplňované SI motory. Ověření proběhlo úspěšně na 2.0 l SI motoru Honeywell s použitím ETAS ES1000 'rapid prototyping unit' a 'Raspberry Pi'. Vznikl funkční vzorek. Měření a ověřování také probíhá na 1.4 l SI motoru VW s použitím Ricardo 'rapid prototyping unit' rCube2.

WP20V009: (O) Nástroj plánování experimentů a identifikačních algoritmů pro rychlé vytváření nelineárních pred. a simulačních modelů – dosažení 12/2016

- Je připravována publikace v recenzovaném časopise.

Milníky pro konec roku 2016

Pro 2016 nejsou plánovány žádné milníky.

Nejbližší milník WP20M02: – dosažení 12/2017

Prezentační a publikační činnost:

- B. Hnilicka, F. Bradac, M. Vinklar, A. Kouba and J. Navratil: Gasoline engine control using WAVE-RT model running in rapid prototyping ECU: rCube2, Ricardo Software UserCon Europe, April 2016.
- B. Hnilicka, A. Kouba, M. Horacek, M. Dulaj, M. Vinklar and J. Navratil: Gasoline engine control using real time 1-D model running in rapid prototyping ECU, Controls, Measurement & Calibration Congress, Pune/India, May 2016.

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

- Dokončení nástroje plánování experimentů s prediktivním regulátorem [2,3]
- Testování řídicí strategie na zážehovém motoru s jednotkou rCube2 [1,3]
- Testování řídicí strategie pro řízení vzduchové cesty zážehového motoru VW 1.4 litre s jednotkou rCube2 a OnRAMP MPC [5]
- Testování řídicí strategie pro vznětové motory [4]
- Dokončení vývoje komponent hybridní řídicí strategie ve spolupráci s WP05 [1]
- Experimenty s vyvinutými řídicími strategiemi [1-5]
- Ověření nástrojů a procesů pro implementaci komponent třetích stran do řídicí strategie a implementace modelů WAVE-RT [1-5]
- Testování procesů a SW nástrojů všech účastníků [1-5]

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

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 plánovaných výsledků pro 2017 (termín dosažení):

TE01020020V028 WP20V009 (G): Nástroj plánování experimentů a identifikačních algoritmů pro rychlé vytváření nelineárních prediktivních a simulačních modelů. [2]

TE01020020V096 WP20V010 (G): Funkční prototyp ECU pro vznětový motor. [4]

TE01020020V097 WP20V010 (G): Unifikovaná řídicí strategie pro dieselové motory, optimalizovaný SW pro řízení a komunikaci s přídatnými zařízeními na dodatečnou úpravu výfukových zplodin. [4]

TE01020020V098 WP20V011 (G): Základní řídicí strategie pro vznětové, zážehové a hybridní pohonné systémy a relevantní experimentální data. [1, 2, 3]

TE01020020V099 WP20V012 (R): Unifikovaný proces a nástroje pro návrh integrovaných optimálních řídicích strategií pro spalovací motory. [1-5]

TE01020020V100 WP20V013 (R): Zobecněná metodika pro implementaci pokročilých řídicích algoritmů do 'embedded' aplikací. [1-5]

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

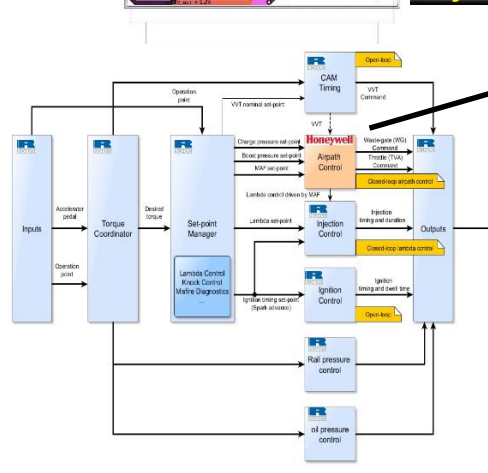
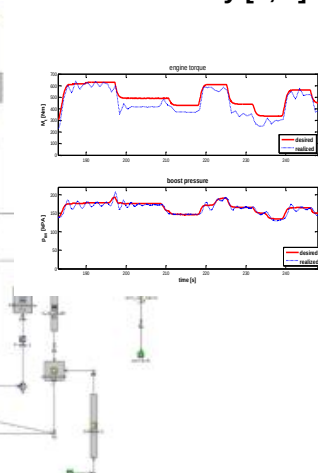
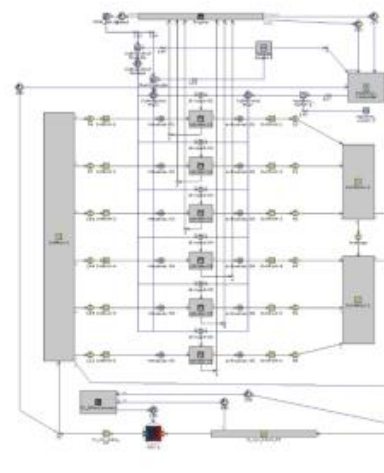
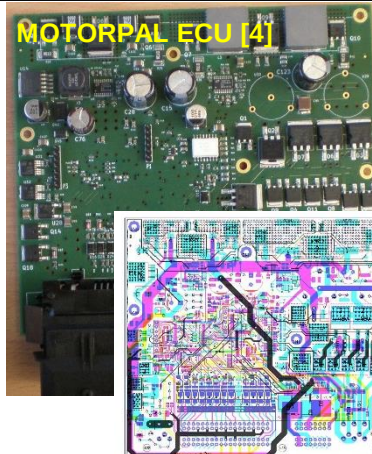
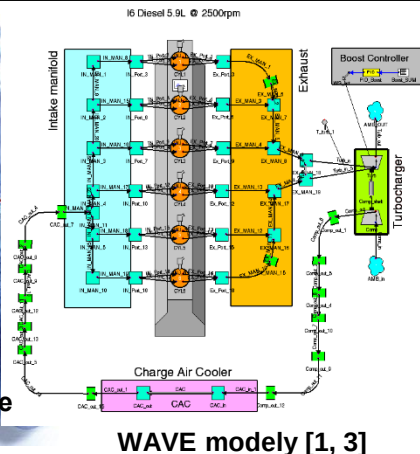
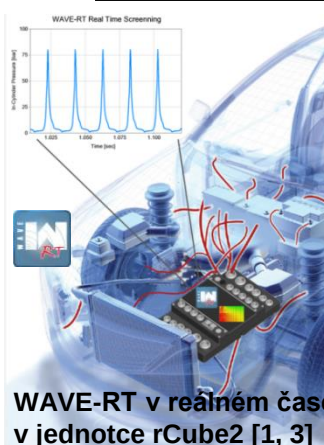
Poděkování

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

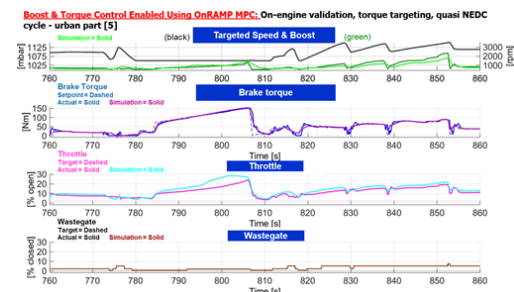
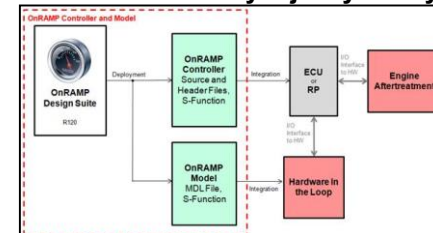
Děkuji za pozornost

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

Výťah z provedených prací 2012-2016 na WP20: Prediktivní nebo adaptivní řízení motoru za účelem snížení spotřeby paliva a škodlivých emisí

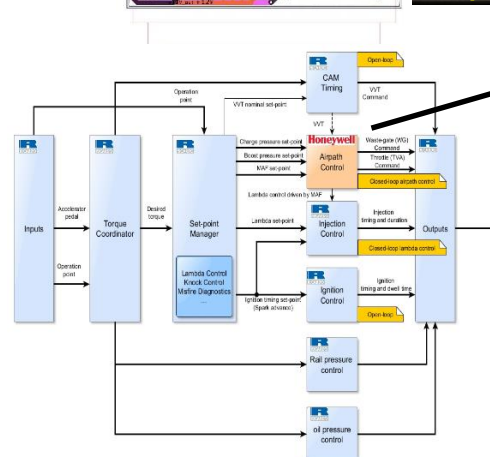
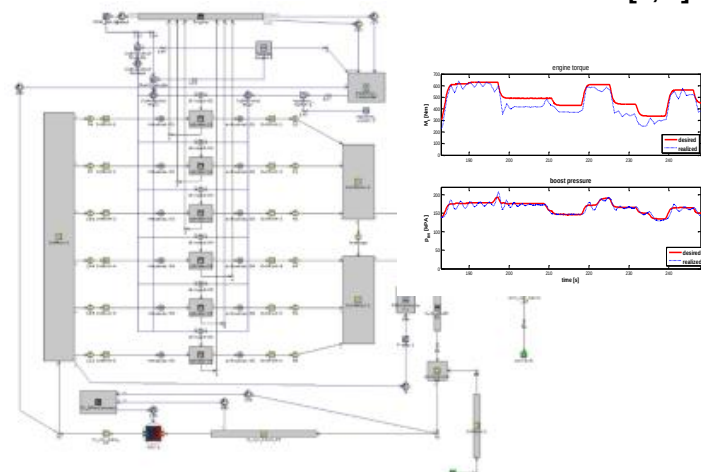
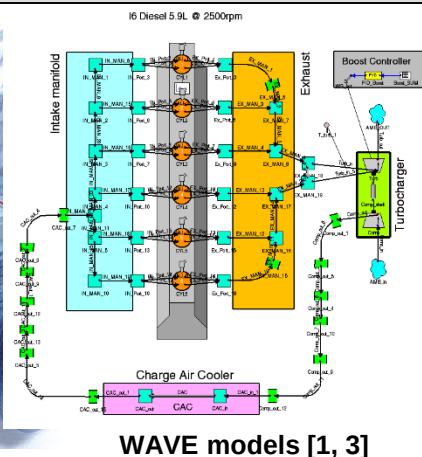
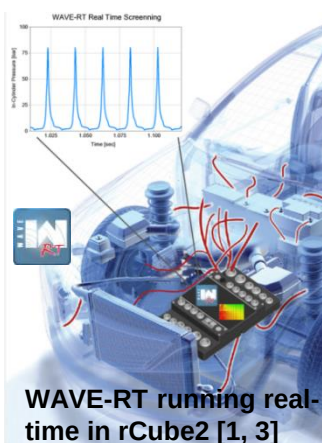


OnRAMP controller – vývoj a výsledky [5]

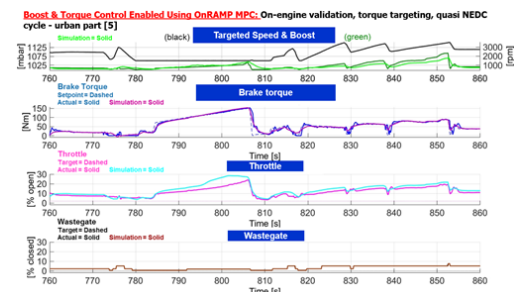
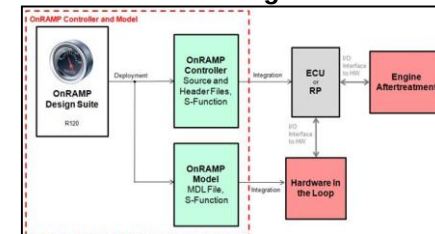


Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Abstract 2012-2016 of WP20: Engine predictive or adaptive flexible control for minimum fuel consumption and pollutant emissions



OnRAMP controller design and results [5]



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

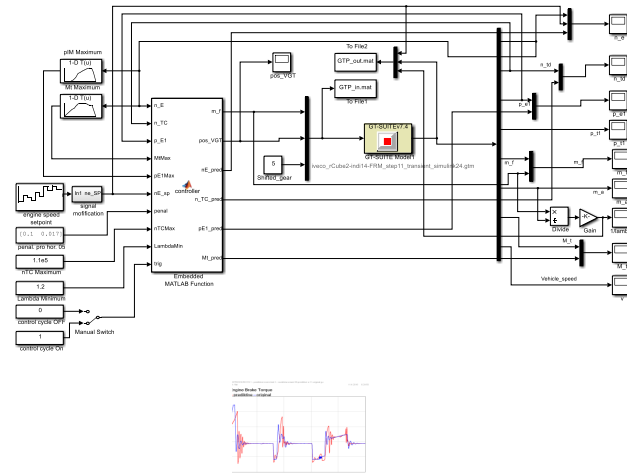
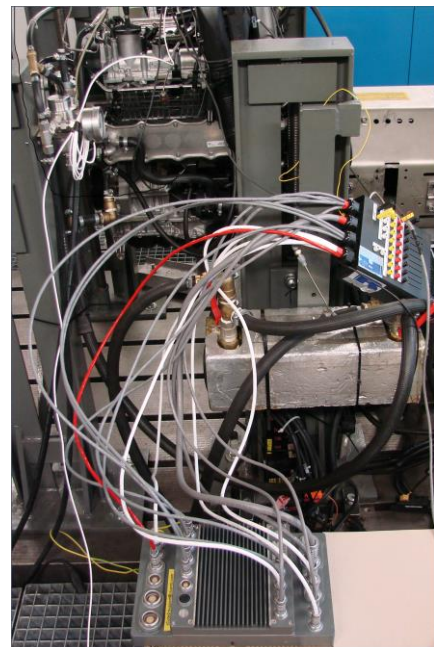
Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Výťah z provedených prací za rok 2016 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]

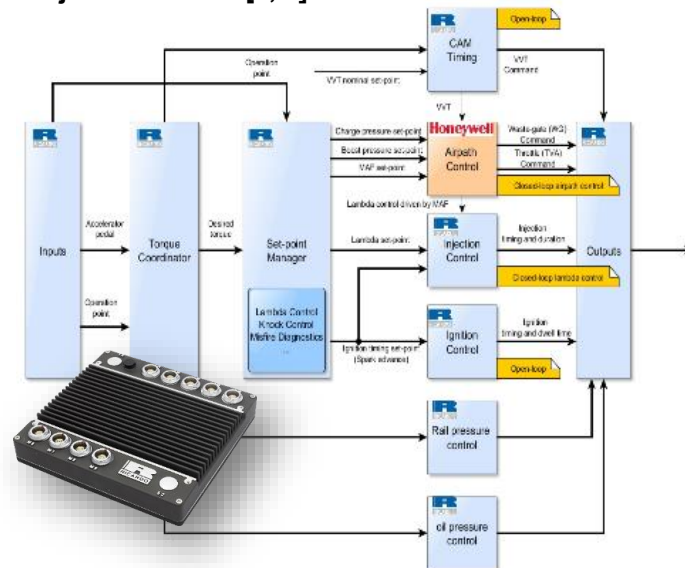
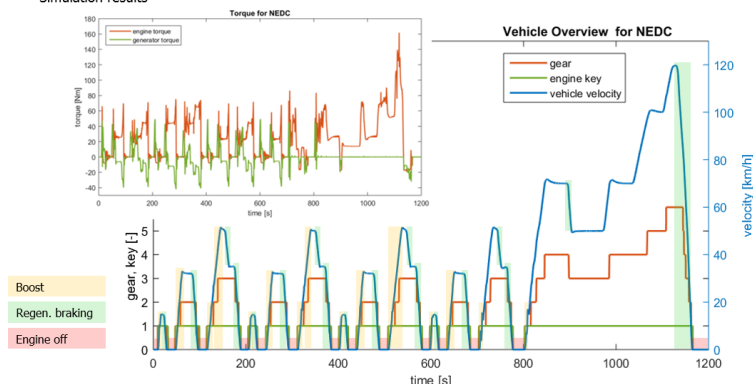
GT-Power model pro testování algoritmů v MIL [2]

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

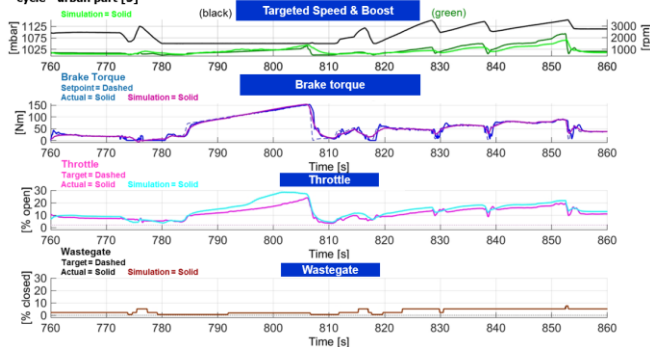


Modulární řídicí strategie rozšířena o hybridní prvky [1]

- Simulation results



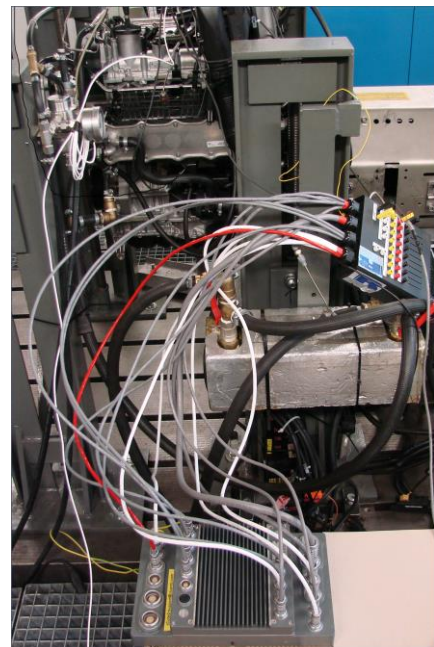
Boost & Torque Control Enabled Using OnRAMP MPC: On-engine validation, torque targeting, quasi NEDC cycle - urban part [5]



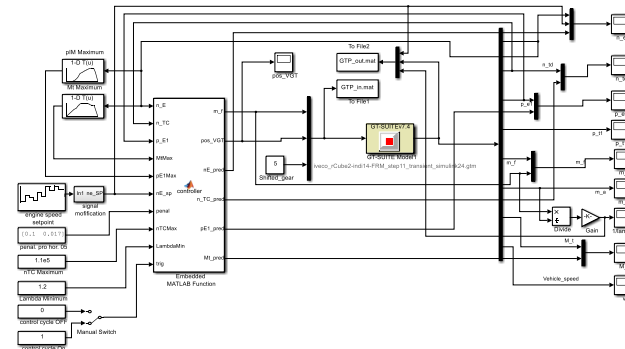
Legenda: [1] – Ricardo, [2] – ČVUT, [3] – TUV, [4] – MOTORPAL, [5] – Honeywell

Abstract 2016 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]

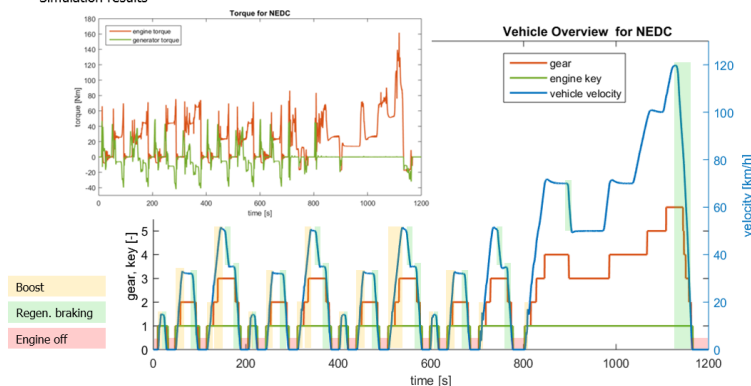


GT-Power model suitable for developed algorithms testing in MIL [2]

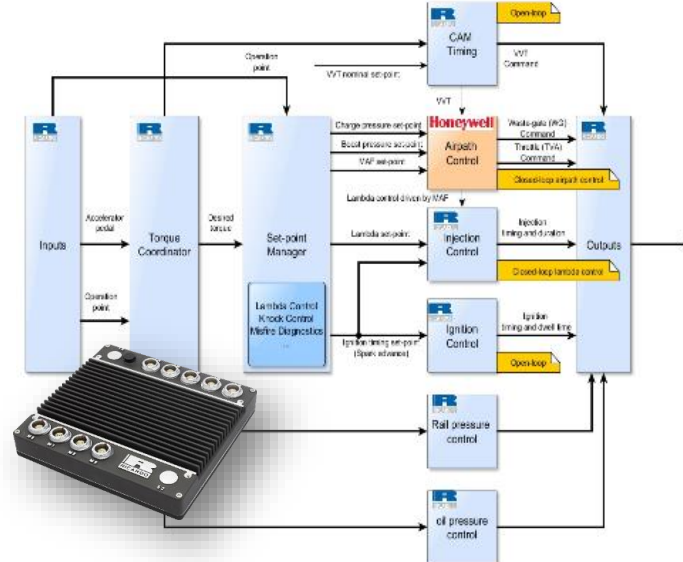


Modular engine control strategy extended by hybrid features [1]

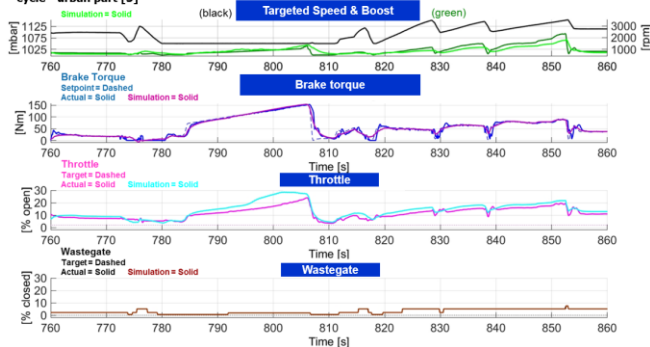
- Simulation results



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



Boost & Torque Control Enabled Using OnRAMP MPC: On-engine validation, torque targeting, quasi NEDC cycle - urban part [5]



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