

Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

Vedoucí konsorcia podílející se na pracovním balíčku

TÜV SÜD Czech s.r.o., zodpov. osoba Ing. Richard Vacek

Členové konsorcia podílející se na pracovním balíčku

České vysoké učení technické v Praze V. Klír, Technická univerzita v Liberci R. Voženílek

Hlavní cíl balíčku

TÜV – Metodiky pro experimentální optimalizaci emisí a účinnosti motoru za dynamiky

ČVUT – Matematický nástroj pro určení chování spalovacího motoru během přechodových dějů a dále modely popisující zásobníky elektrické energie a elektrického stroje použitelné v hybridních vozidlech

TUL – Výzkum chování hnacího ústrojí vozidel (spalovací motor, převodovka) na zkušebním zařízení typu powertrain.

- Sledování vlastností a účinnosti hnacího ústrojí vozidel pro verifikaci simulačních modelů.

Analýza výsledků měření

Dílčí cíle balíčku pro nejbližší období

WP25M03: Matematický simulační nástroj pro rychlou předpověď chování vozidla v dynamickém jízdním cyklu a metoda pro získávání kalibračních dat.

Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

WP25A08: Metodiky pro experimentální optimalizaci emisí a účinnosti motoru za dynamiky. (TÜV SÜD Czech)

Práce vycházejí z požadavků komerčních zákazníků na dovývoj/ závěrečné seřízení motoru tak, aby vyhovoval legislativním požadavkům.

Dle cílových emisních požadavků plynou požadavky na následné zpracování výfukových plynů a to zpětně ovlivňuje optimalizační strategii na straně motoru.

Požadavky předpisů: - měření za dynamiky v definovaném jízdním cyklu

- emise motoru za různých barometrických podmínek – teplota, tlak
- emise motoru po startu (studený motor)
- požadavky na životnost emisního systému

Na několika motorech byly provedeny experimenty s cílem optimalizace emisních vlastností. Závěry z experimentů jsou shrnuty v metodice pro optimalizaci emisí za dynamiky.

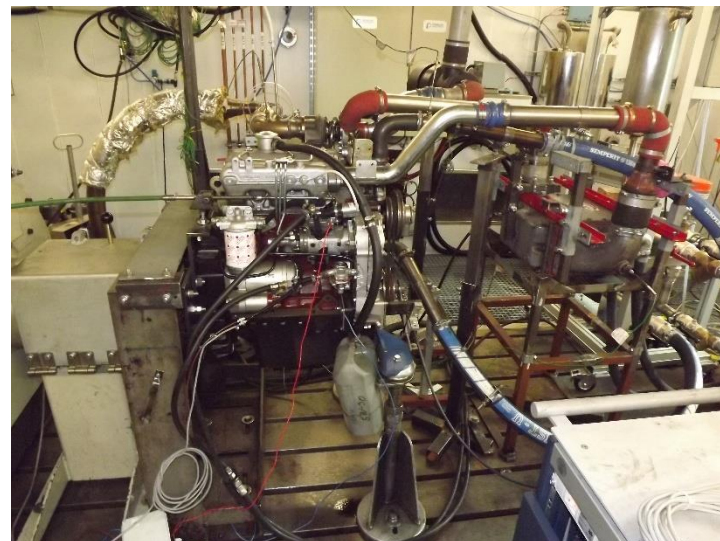
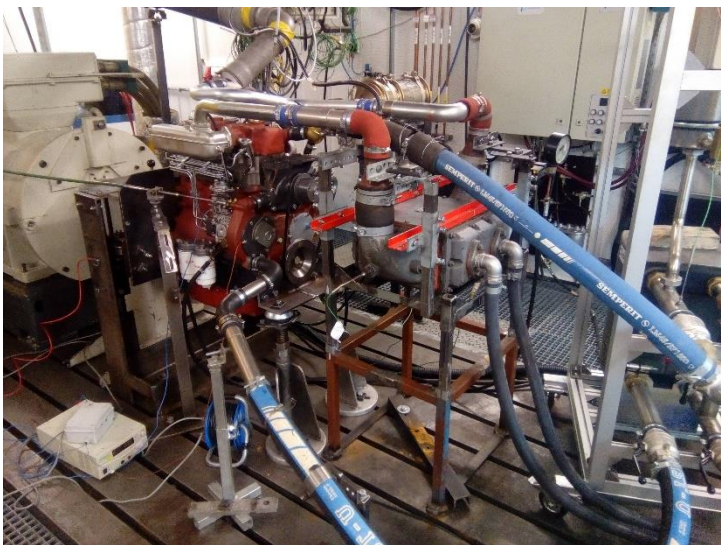
Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

Podklady o emisním chování motorů za dynamiky byly získány na motorech:

emisního stupně 3A – žádné následné zpracování emisí,

3B – motor vybavený filtrem pevných částic,

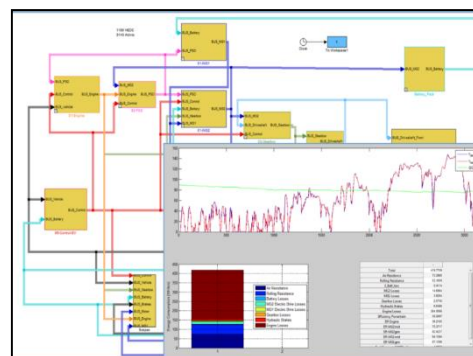
očekávaných limitů stupně 5 (+ počty částic) – motor s DPF, SCR a EGR



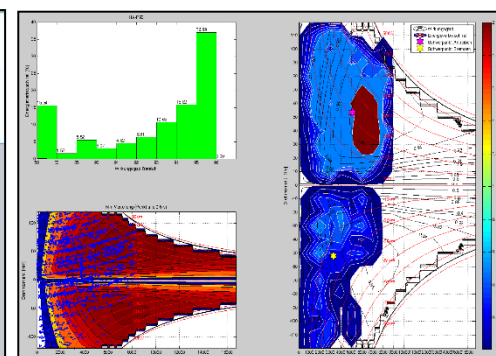
Motory, na kterých byla získána experimentální data

Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

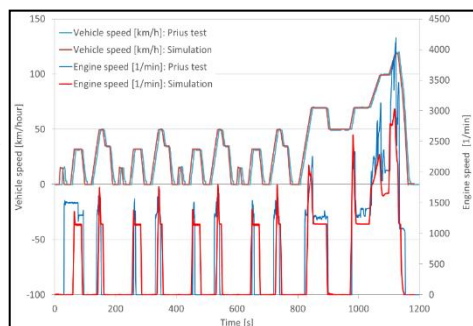
- V rámci WP25 je vyvíjen simulační nástroj *RideSim*, který tvoří knihovna modulů vytvořených v prostředí MATLAB/Simulink. Z dosud vytvořených modulů lze sestavit modely konvenčních, elektrických i hybridních vozidel – milník WP25M03.
- Simulační nástroj *RideSim* respektuje:
 - Podélnou dynamiku vozidla
 - Jízdní odpory vozidla
 - Ztráty v pohonném řetězci
 - Účinnosti pohonných jednotek a zásobníků energie
 - Specifické chování přeplňovaných spalovacích motorů
- Simulační nástroj *RideSim* umožňuje:
 - Simulace jízdy vozidla v jízdním cyklu
 - Spotřeba
 - Analýza ztrát a účinností jednotlivých částí pohonu
 - Analýza provozních bodů pohonných jednotek
 - Simulace podélné dynamiky vozidla
 - Zrychlení vozidla
 - Pružnost vozidla při zařazeném rychlostním stupni
 - Maximální rychlost



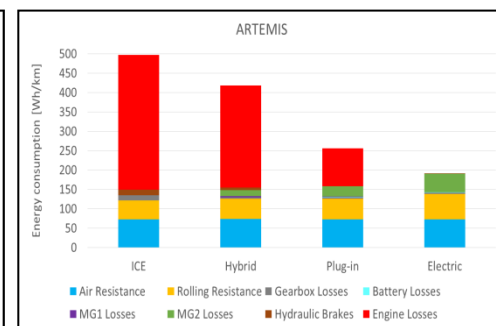
RideSim- Simulační nástroj



Analýza provozních bodů pohonu



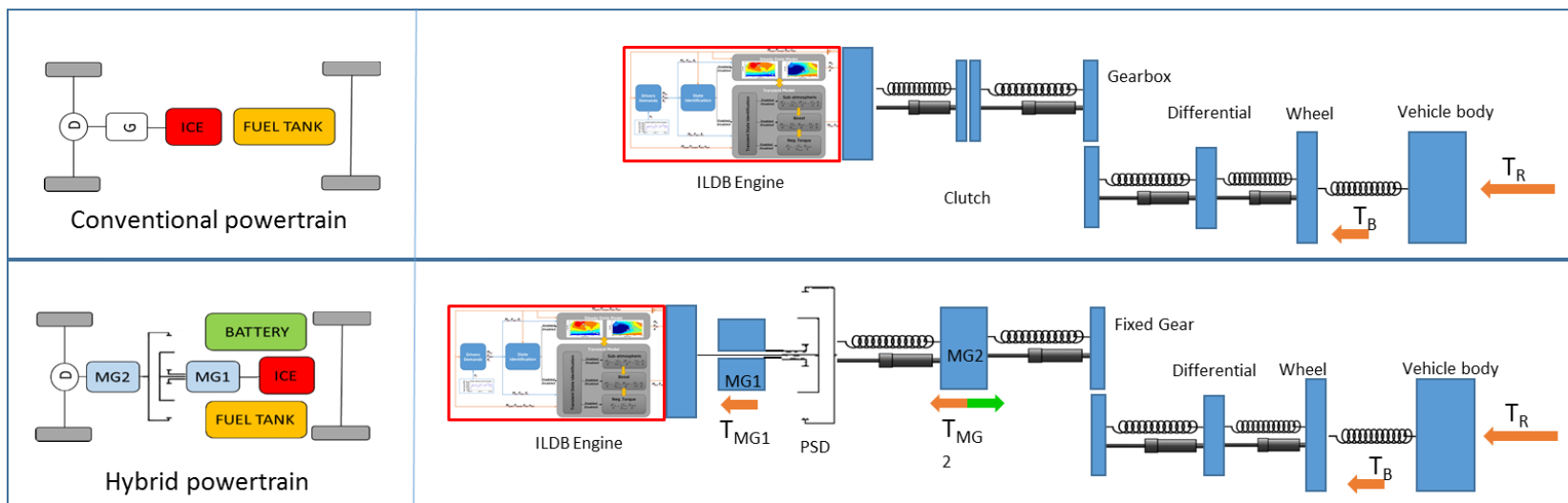
Simulace jízdy vozidla v jízdním cyklu



Analýza ztrát a účinností

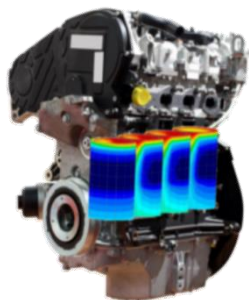
Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

- V roce 2016 bylo modelování dynamiky pohonného řetězce v prostředí RideSim doplněno o možnost simulovat jízdu vozidla s **přepíňovaným spalovacím motorem v přechodových jízdních režimech**:
 - Simulace pohonného řetězce je vytvořena na principu vícehmotové soustavy
 - Jednotlivé komponenty jsou modelovány jako hmotné setrvačnosti, které jsou mezi sebou propojeny soustavou torzních pružin a tlumičů
 - Takto vytvořený dynamický systém lze popsat soustavou diferenciálních rovnic, které jsou následně řešeny numerickou integrací
 - Nově vyvinutý „ILDB“ model spalovacího motoru rozšiřuje dosavadní kvazistatický model spalovacího motoru o popis chování motoru během přechodových režimů a výrazně tím zvyšuje přesnost simulace jízdy vozidel s přepíňovaným spalovacím motorem v dynamických jízdních cyklech

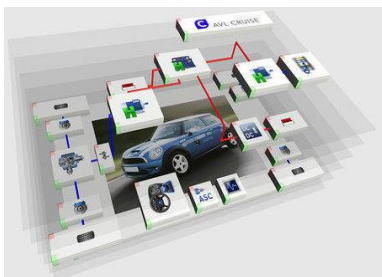


Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

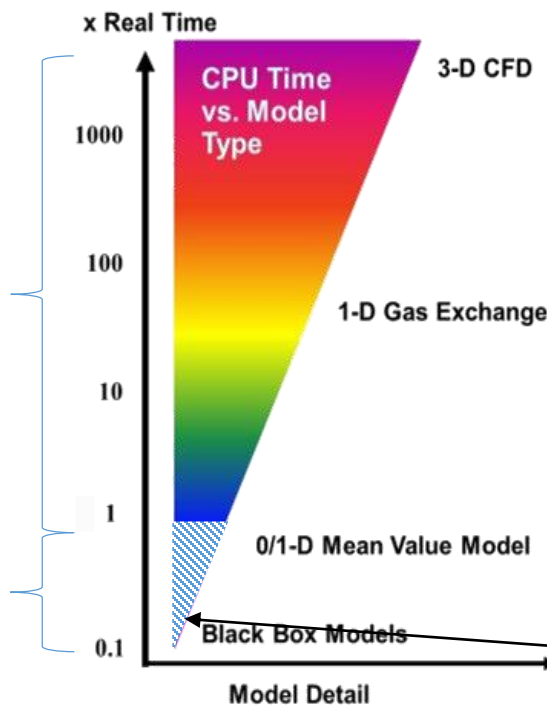
- Model ILDB:
 - Tento model spalovacího motoru **není prediktivní** a vyžaduje znalost jak statických map zkoumaných veličin, tak jejich chování v jednoduchých přechodových režimech
 - Výhodou modelu je **krátký výpočetní čas** v porovnání se zjednodušeným 0D CFD modelem v GT Suite



Simulace dějů ve
spalovacím motoru



Simulace vozidel

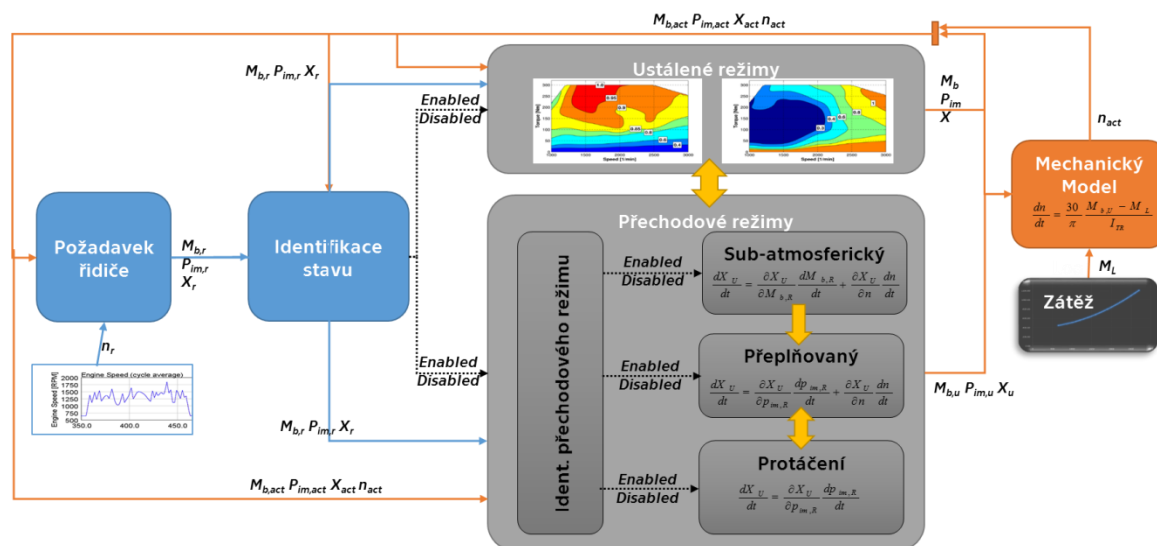


Jednoduché, výpočetně
nenáročné modely
většinou nerespektují
chování přeplňovaných
motorů v přechodových
režimech

ILDB model

Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

- Model ILDB:
 - Model **v ustálených režimech** využívá interpolaci zkoumaných veličin **z naměřených map** (bsfc, be,...)
 - V přechodových režimech** počítá časový průběh zkoumané veličiny na základě znalosti **lokálních derivací dané veličiny v okolí aktuálního provozního bodu** (např. průběh aktuálního točivého momentu motoru v závislosti na poloze plynového pedálu)
 - Mezi těmito dvěma základními stavy je během simulace průběžně přepínáno na základě identifikace statických a přechodových režimů (např. dle rozdílu požadovaného a skutečného tlaku v sání) dle následujícího schématu:



Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

- Simulační model ILDB (Investigation of Local Dynamic Behaviour) spalovacího motoru využívá znalosti dynamického chování motoru v blízkém okolí pracovního bodu
 - V **přechodových režimech** model počítá časový průběh zkoumané veličiny na základě znalosti **lokálních derivací** dané veličiny v okolí aktuálního provozního bodu
 - Např. průběh aktuálního točivého momentu motoru v závislosti na požadovaném momentu (poloze plynového pedálu):

$$I_{TR} \frac{\pi}{30} \frac{dn}{dt} = M_{b,U} - M_L$$

$$\frac{dM_{b,U}}{dt} = \frac{\partial M_{b,U}}{\partial M_{b,R}} \frac{dM_{b,R}}{dt} + \frac{\partial M_{b,U}}{\partial n} \frac{dn}{dt}$$

$M_{b,U}$ - neustálený moment na klice v přechodovém režimu

$M_{b,R}$ - požadovaný moment na klice

M_L - moment zátěže

I_{TR} - moment setrvačnosti motoru

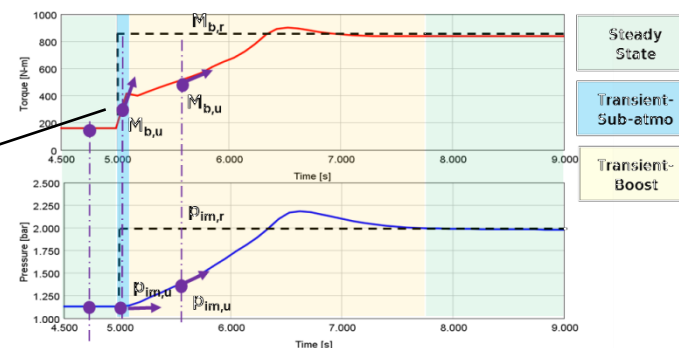
n - otáčky motoru

t - čas

$$\frac{\partial M_{b,U}}{\partial M_{b,R}} = f(n, M_b)$$

$$\frac{\partial M_{b,U}}{\partial n} = f(n, M_b)$$

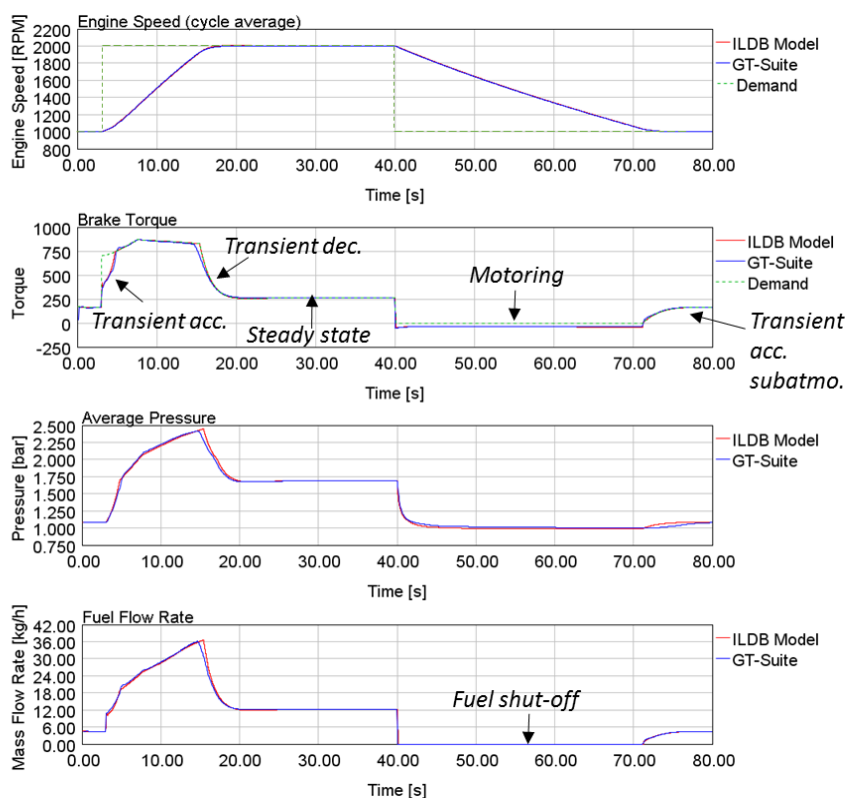
Hodnoty parciálních derivací jsou tabelovány pro jednotlivé pracovní body motoru. Jejich hodnoty je nutno nejprve získat z výsledků simulace spalovacího motoru (GT Suite) anebo z výsledků měření motoru na motorové brzdě.



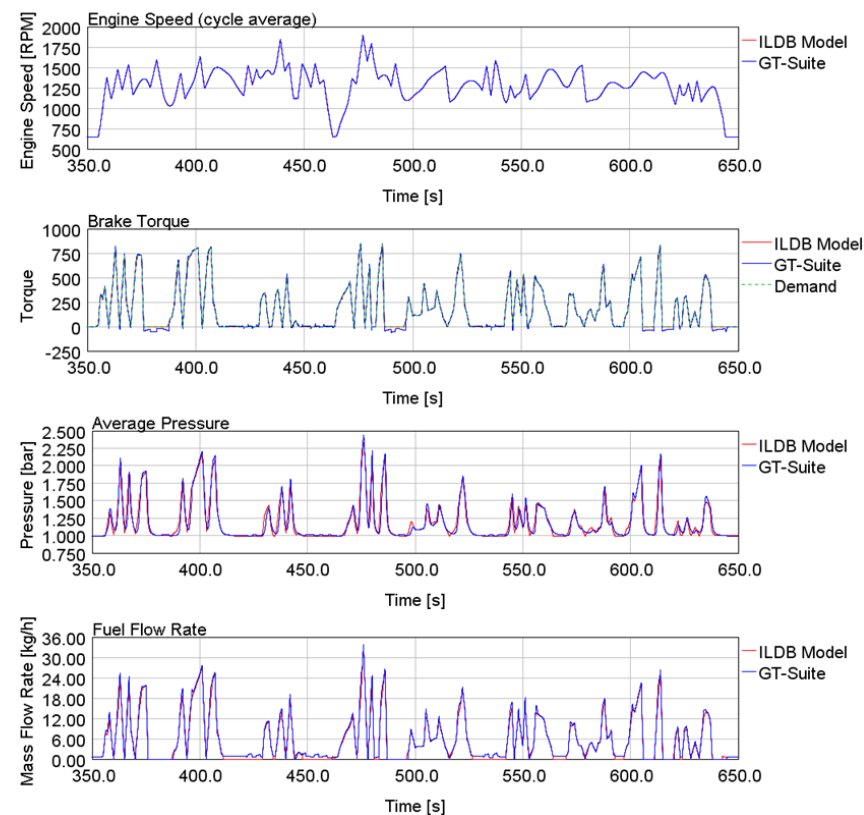
- Obdobným způsobem jsou v modelu počítány také **průběhy ostatních zkoumaných veličin** (plnicí tlak, otáčky turbodmychadla, aktuální spotřeba paliva...)

Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

- Simulační model ILDB- Porovnání výsledků simulací vznětového motoru IVECO v **GT Suite** (1D CFD Simulace) a **RideSim** (Investigation of Local Dynamic Behaviour):



Simulace jednoduchého přechodového manévru s modelem vozidla

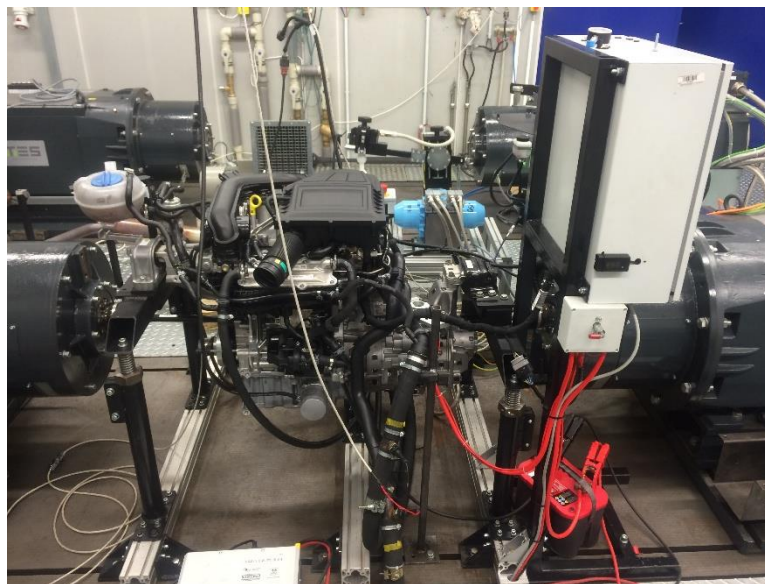


Simulace zkušebního cyklu WLTC

Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

WP25C05: Soubor měření pro kalibraci simulačních modelů.(TU v Liberci)

Ve zkušebně POWERTRAIN probíhají zkoušky s hnacím agregátem s motorem 1.0l TSI 85 kW a 6° manuální převodovkou. Příprava simulačních modelů probíhá v sw dSPACE.

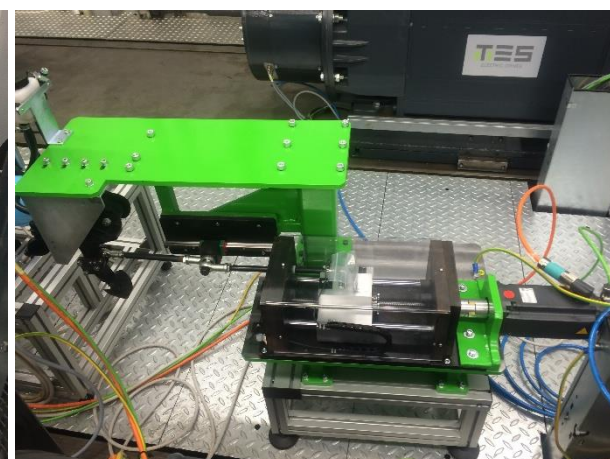
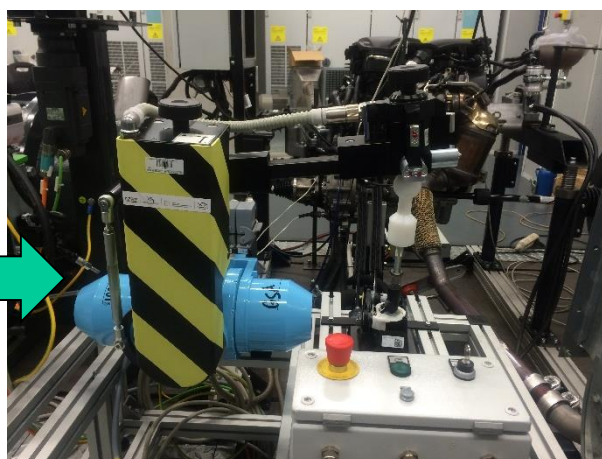
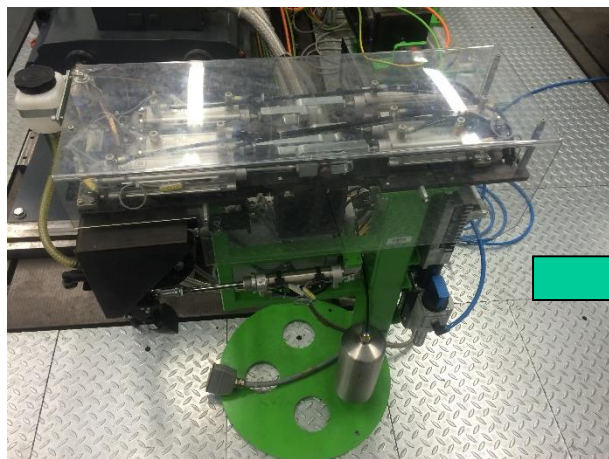


Powertrain s hnacím agregátem 1.0l TSI 85 kW
+ 6° manuální převodovka

Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

WP25C05: Soubor měření pro kalibraci simulačních modelů.(TU v Liberci)

Laboratoř Powertain je nově vybavena řadicím robotem GSA9001s a elektromechanicky ovládanou spojkou. Proti pneumaticky ovládanému řadicímu robotu a spojce se čas řazení zkrátil z cca 1,3 – 1,7 sekundy na cca 0,8 sekundy. V současné době se pracuje v rámci simulačních modelů na vytvoření vstupních dat pro zkušebnu Powertrain umožňující zkoušet definované jízdní cykly typu NEDC a další.

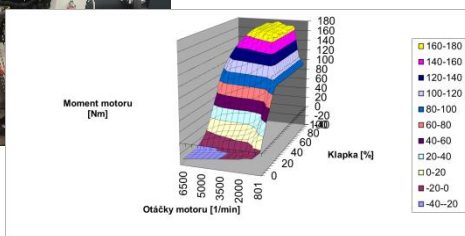
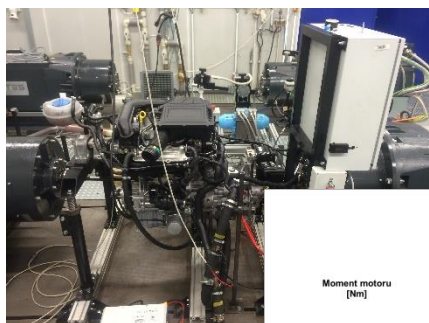


Pneumaticky ovládaný
robot řazení a spojka

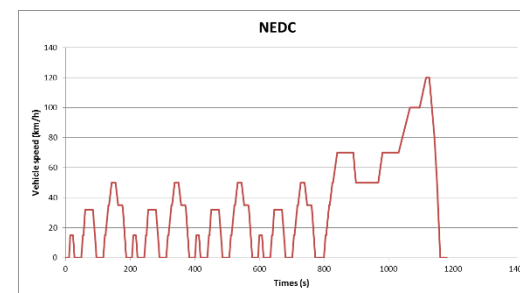
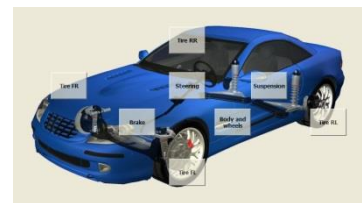
Nový elektromechanicky ovládaný robot
řazení a elektromechanicky ovládaná spojka

Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

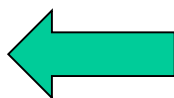
Získání skutečné charakteristiky
spalovacího motoru měřením



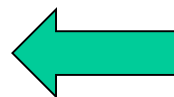
Zadání parametrů vozidla,
převodovky,



Simulace
na
zkušebně



Vstupní data pro
zkušebnu
POWERTRAIN



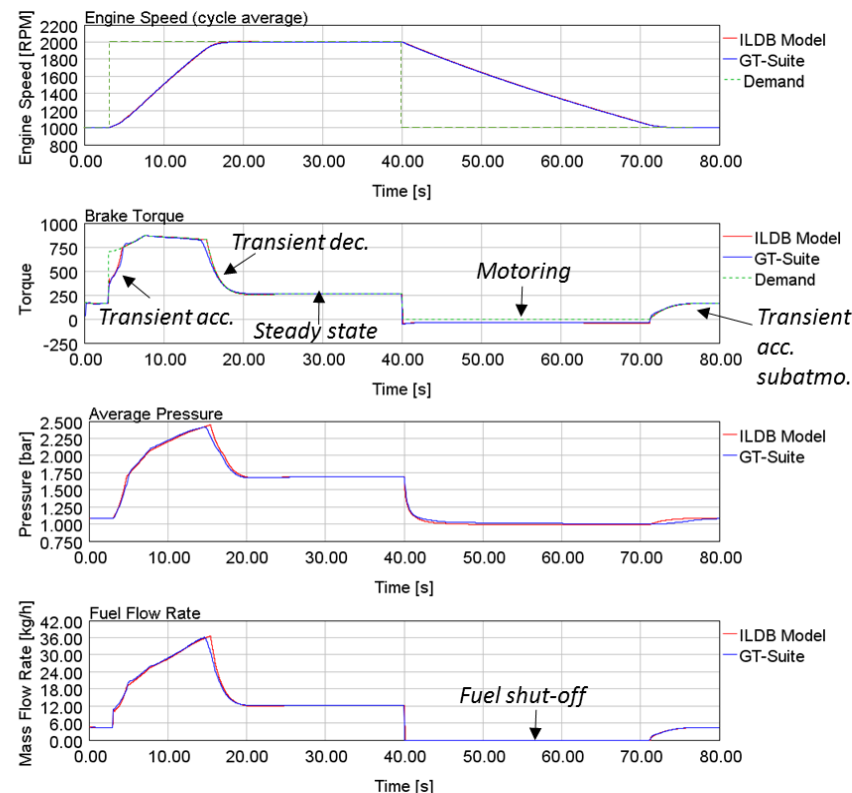
Plnění cílů, milníků a výstupů, splněné výsledky balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

Plnění dílčích cílů, milníků a výstupů

WP25M03: Matematický simulační nástroj pro rychlou předpověď chování vozidla v dynamickém jízdním cyklu a metoda pro získávání kalibračních dat. (ČVUT).

Software s ILDB modelem je vytvořen, provedeno porovnání jeho výsledků s výsledky v GT suite.

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

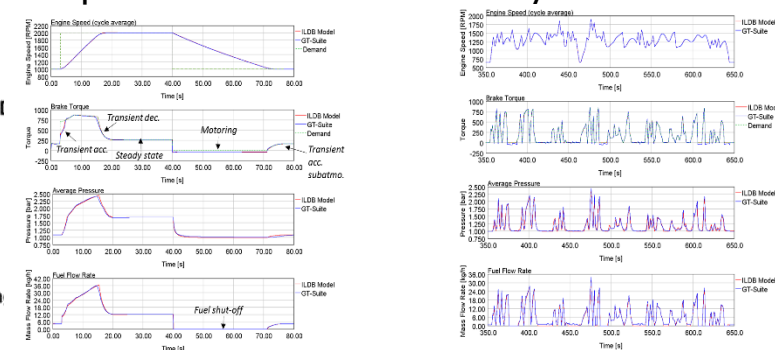
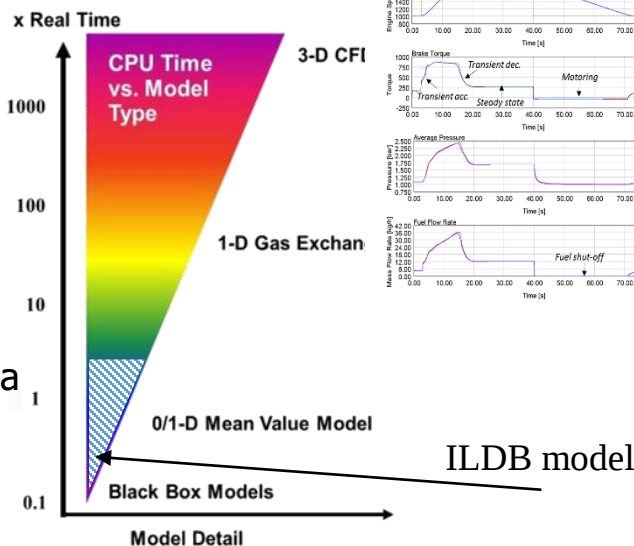


Výťah z prací 2012-2016 na WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

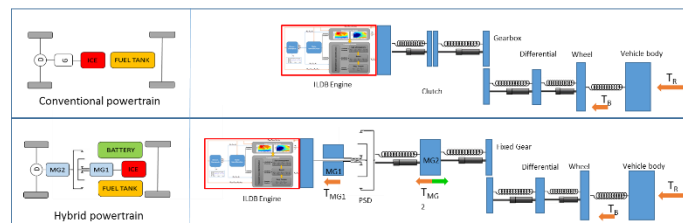
ČVUT Vytvořen simulační model hybridního vozidla s děličem výkonu (Toyota Prius), který slouží k výpočtu výkonů, účinnosti, spotřeby a dynamiky popisovaného vozidla v libovolném jízdním cyklu. Simulační nástroj byl rozšířen o model spalovacího motoru ILDB (Investigation of Local Dynamic Behaviour), využívající znalosti dynamického chování motoru v blízkém okolí pracovního bodu. Model byl ověřen na přepínaném motoru s výsledky v GT Suite

TÜV SÜD Czech Byla připravena měřicí základna pro experimentální výzkum emisí a účinnosti motoru, která odpovídá i legislativním požadavkům. Ověření měřicího řetězce válcové zkušebny, příprava váhové komory Regulace barometrických podmínek na zkušebně (teplota, vlhkost), akreditace na emisní zkoušky od ČIA, metodika provádění emisního měření, experimentální optimalizace emisí.

TUL Zprovoznění zkušebny powertrain, ověření na zkušebním vzorku. Příprava simulačních modelů pro Powertrain



Jiné jednoduché, výpočetně nenáročné modely většinou nerespektují chování přepínaných motorů v přechodových režimech

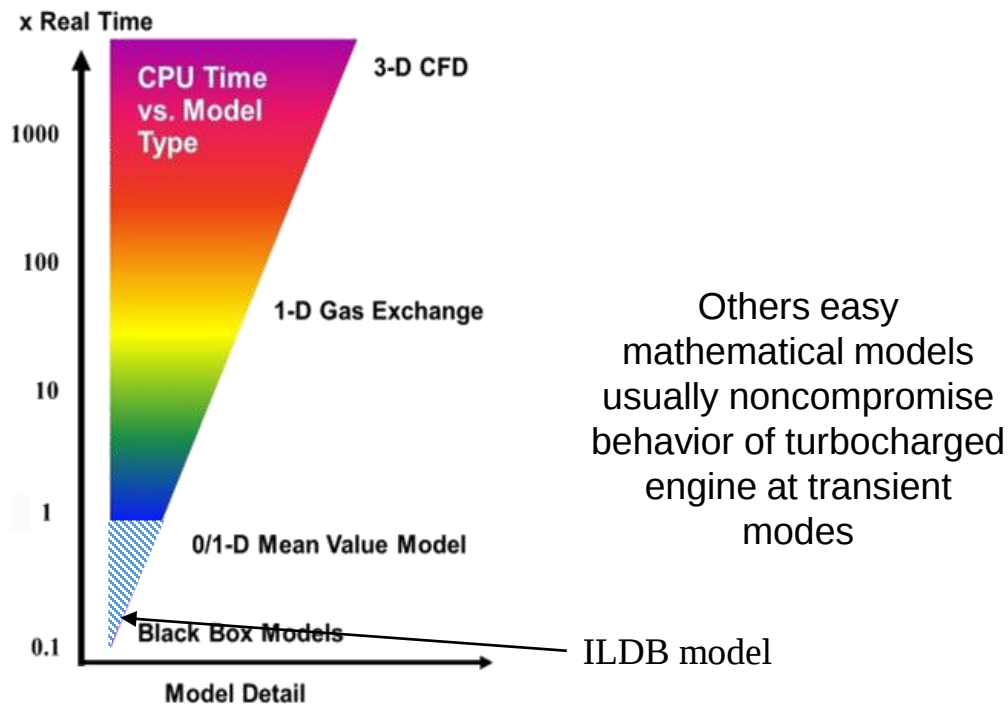


Results of WP 25 Advanced testing methods for internal combustion engines and powertrain - Achieved 2012-2016

ČVUT Hybrid vehicle (Toyota Prius) power distribution simulation model for power, efficiency, fuel consumption and dynamic at every driving cycle. Simulation tools now also include ILDB (Investigation of Local Dynamic Behavior) engine model, which compromise engine dynamic behaviour near to working point. Results from model were compared with GT suite results for turbocharged engine.

TÜV SÜD Czech Measuring base for experimental research of engine emissions and efficiency was prepared to fulfill also legislative requirements. Roller bench measuring chain verification, weighting room preparation. Barometric conditions regulation (temperature, humidity), emission tests accreditation (Czech Accreditation Institute), methodology of emission measurement, methodology of experimental emission optimization

TUL Powertrain laboratory commissioning, tested on sample. Preparation of simulation model

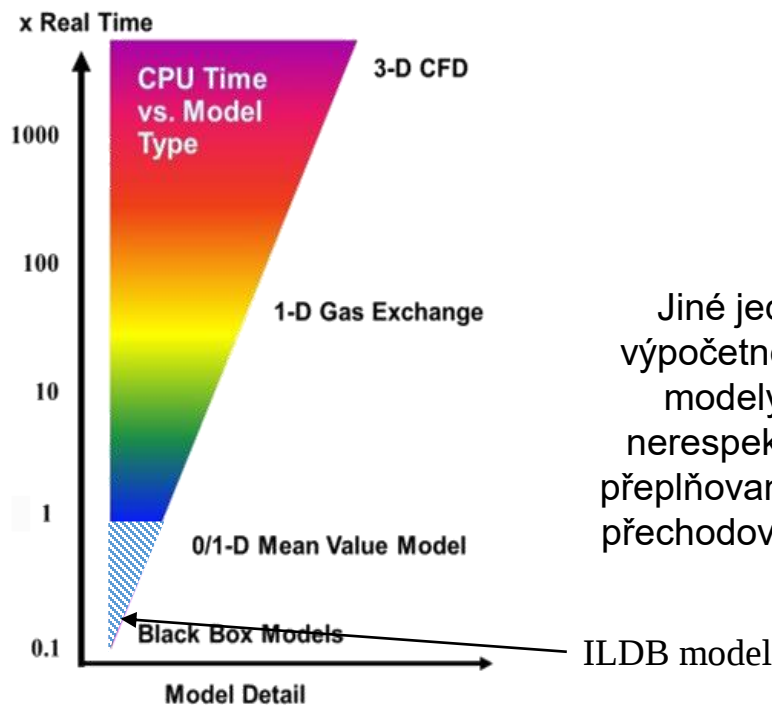


Výťah 2016 z provedených prací na WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

ČVUT Matematický simulační nástroj pro rychlou předpověď chování vozidla v dynamickém jízdním cyklu byl rozšířen o model přepřlňovaného spalovacího motoru ILDB (Investigation of Local Dynamic Behavior), využívající znalosti dynamického chování motoru v blízkém okolí pracovního bodu. Model byl ověřen na přepřlňovaném motoru s výsledky v GT Suite

TÜV SÜD Czech Na základě experimentů na třech nesilničních motorech byla připravena metodika pro experimentální optimalizaci emisí.

TUL Na zprovoznění zkušebně powertrain, byly provedeny experimenty pro získání dat pro kalibraci simulačních modelů



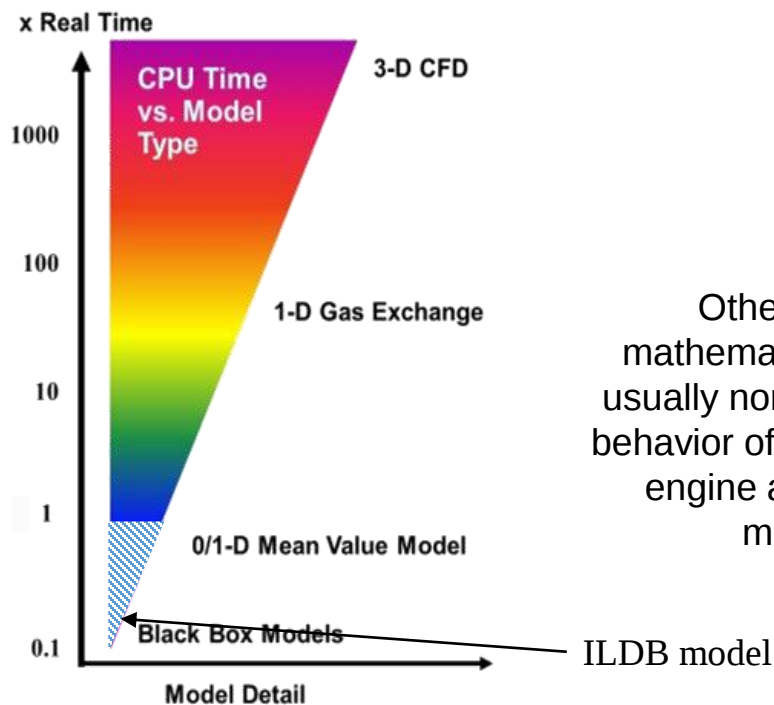
Jiné jednoduché, výpočetně nenáročné modely většinou nerespektují chování přepřlňovaných motorů v přechodových režimech

Abstract 2016 of WP 25 Advanced testing methods for internal combustion engines and powertrain

ČVUT Mathematic simulation model for quick prediction of vehicle behaviour at transient test cycle now includes model of turbocharged engine ILBD (Investigation of Local Dynamic Behaviour). This model compromise dynamic engine behavior of engine near to working point. Results from model were compared with GT suite results for turbocharged engine.

TÜV SÜD Czech Mythology of experimental emission optimization was prepared from 3 nonroad engines experimental results.

TUL Experiments of Powertrain laboratory with results for simulation model calibration



Others easy mathematical models usually noncompromise behavior of turbocharged engine at transient modes