



Popis obsahu balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

WP01: 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 Vojtěch Klír, Technická univerzita v Liberci Robert Voženílek

Hlavní cíl balíčku

Postupy pro experimentální optimalizaci emisí a účinnosti motoru za dynamiky a jejich ověření.

Simulační nástroj pro určení chování spalovacího motoru během přechodových režimů a modely popisující zásobníky elektrické energie a elektrického stroje použitelné v hybridních vozidlech.

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

Dílčí cíle balíčku pro nejbližší období

Verifikace metod pro experimentální optimalizaci emisí za dynamiky.

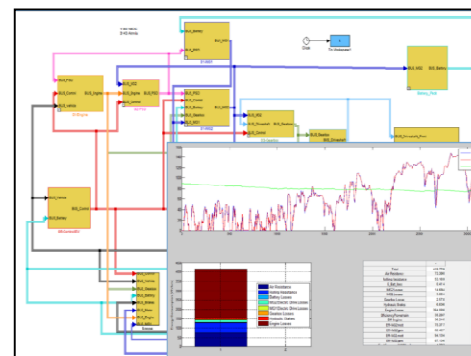
Matematický simulační nástroj pro rychlou předpověď chování vozidla v dynamickém jízdním cyklu a metoda pro získávání kalibračních dat.

Metody pro optimalizaci modelu vozidla pro redukci CO₂

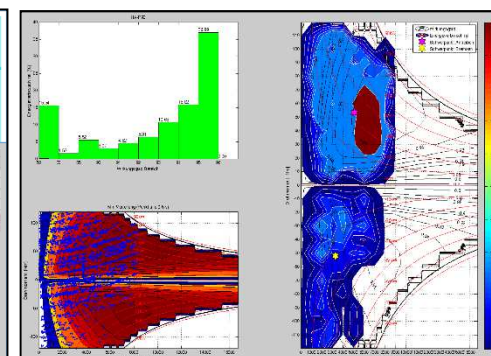


Popis plnění balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

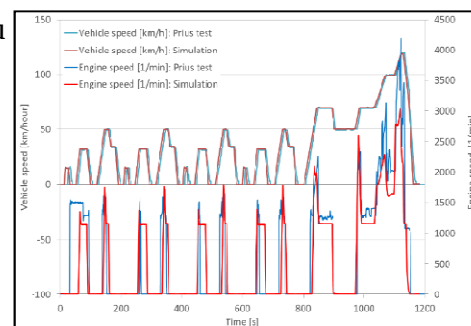
- V rámci WP25 je vyvíjen simulační nástroj *RideSim*, který tvoří knihovna modulů vytvořených v prostředí MATLAB/Simulink. Z dosud vytvořených modulů lze sestavit modely konvenčních, elektrických i hybridních vozidel.
- Simulační nástroj *RideSim* respektuje:
 - Podélnou dynamiku vozidla
 - Jízdní odpory vozidla
 - Ztráty v pohonném řetězci
 - Účinnosti pohonných jednotek a zásobníků energie
 - Specifické chování přepínaných 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



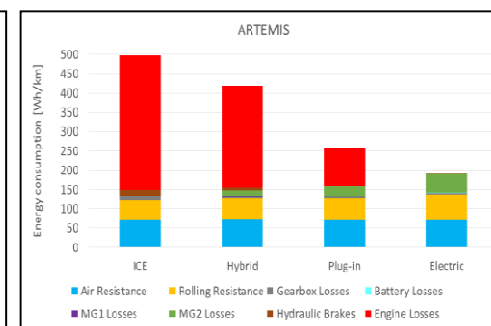
RideSim- Simulační nástroj



Analýza provozních bodů pohonu



Simulace jízdy vozidla v jízdním cyklu



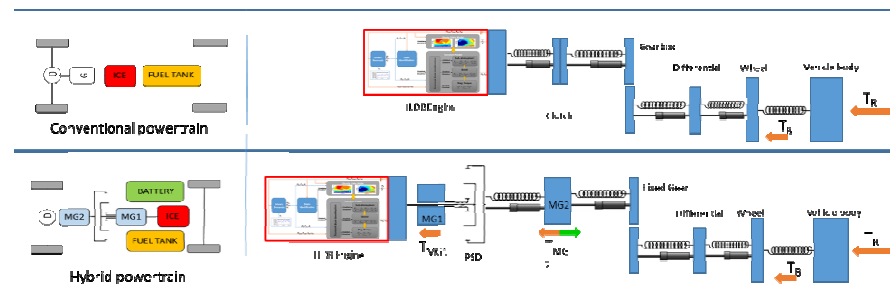
Analýza ztrát a účinností



Popis plnění balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

Pohonný řetězec:

- Simulace pohonného řetězce je vytvořena na principu vícehmotové soustavy doplněné o kinematické vazby a modely účinností pro jednotlivé komponenty pohonného řetězce
- 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
- Moduly vytvořené v rámci WP25 zahrnují:
 - ✓ Quasi-statický a dynamický model spalovacího motoru,
 - ✓ Dvouhmotový setrvačník,
 - ✓ Třecí spojka,
 - ✓ Jedno- a vícestupňové převodovka, CVT převodovka
 - ✓ Diferenciál,
 - ✓ Kolo/pneumatika
 - ✓ Jízdní odpory vozidla
 - ✓ Zásobník elektrické energie (trakční baterie)
 - ✓ Systém pro rekuperaci kinetické energie
 - ✓ Elektromotor a řídicí elektronika



Kalibrace a validace mat. modelu s využitím experimentálních podkladů



Popis plnění balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

Dynamický model spalovacího motoru ILDB- Úvod

- Model predikuje, za pracovní cyklus průměrné, hodnoty zkoumaných veličin spalovacího motoru jako například nestacionární točivý moment, plnicí tlak, otáčky turbodmychadla, spotřebu paliva nebo hmotnostní průtok vzduchu.
- Model kombinuje běžně používanou interpolaci parametrů ze statických map s nově vyvinutou metodikou pro predikci chování motoru během přechodových režimů.
- Stacionární režimy:
 - Quasi-statický přístup
 - Zkoumané parametry motoru jsou interpolovány ze statických map
- Přechodové režimy:
 - Dynamický přístup- ‚*Investigation of Local Dynamic Behaviour*‘ (ILDB)
 - Dynamické mapy obsahují hodnoty parciálních derivací, které popisují průběhy zkoumaných veličin během obecných přechodových režimů v blízkém okolí aktuálního pracovního bodu.
 - Zkoumané parametry motoru jsou integrovány z hodnot jejich parciálních derivací v okolí aktuálního pracovního bodu, které jsou interpolovány z dynamických map.
 -
- ILDB model spalovacího motor je nejinovativnější částí nástroje RideSim a jeho vývoj je publikován v rámci disertační práce



Popis plnění balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

Dynamický model spalovacího motoru ILDB- Metodika

Příklad aplikace ILDB pro výpočet nestacionárního momentu $M_{b,u}$:

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

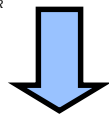
$$\frac{dM_{b,u}}{dt} = \frac{\partial M_{b,u}}{\partial M_{b,r}} \frac{dM_{b,r}}{dt} + \frac{\partial M_{b,u}}{\partial n} \frac{dn}{dt}$$

$$\left. \frac{\partial M_{b,u}}{\partial t} \right|_n = \frac{\partial M_{b,u}}{\partial M_{b,n}} \frac{dM_{b,n}}{dt} = \frac{dM_{b,n}}{dt}, \text{ where } \frac{dn}{dt} = 0, \frac{\partial M_{b,u}}{\partial M_{b,n}} = 1$$

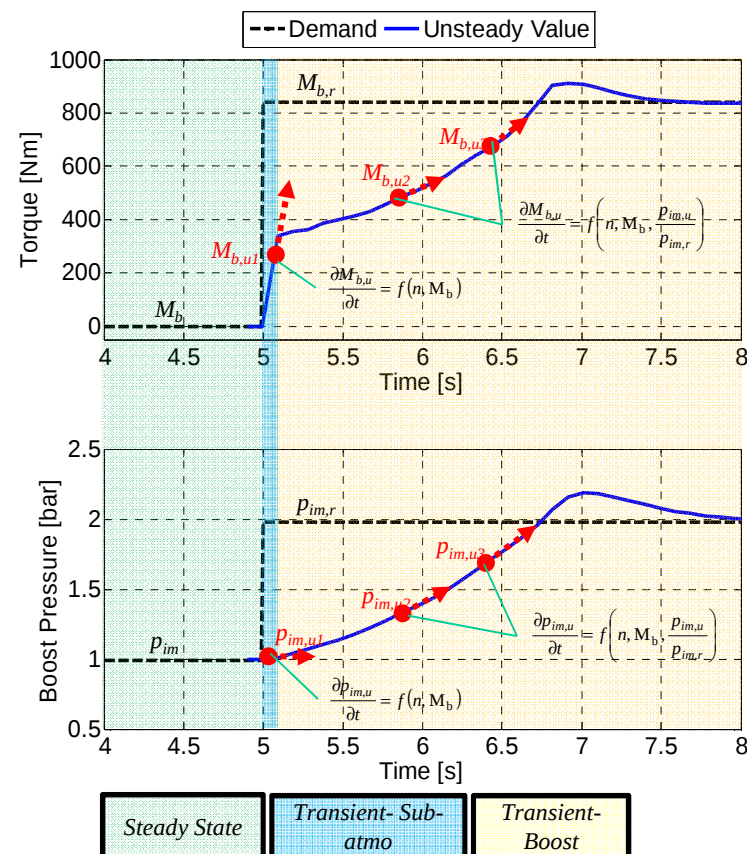


„Momentové“ parciální derivace mohou být identifikovány z odezvy motoru na skokovou změnu $M_{b,r}$ při zachování konstantní rychlosti.

$$\left. \frac{\partial M_{b,u}}{\partial t} \right|_{M_{b,r}, I_{TR}} = \frac{\partial M_{b,u}}{\partial n} \frac{dn}{dt}, \text{ where } \frac{dM_{b,r}}{dt} = 0$$



„Rychlostní“ parciální derivace mohou být identifikovány z odezvy motoru na skokovou změnu zatížení motoru M_L při konstantní poloze regulačního orgánu



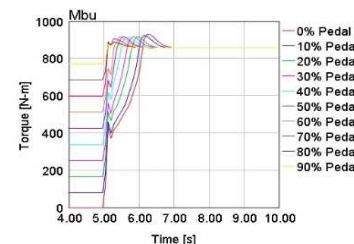


Popis plnění balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

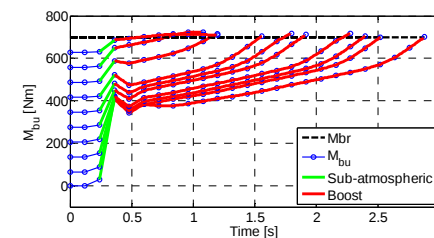
Dynamický model spalovacího motoru ILDB- Identifikace vstupních hodnot modelu:

- Statické a dynamické mapy musí být identifikovány pro všechny zkoumané veličiny motoru z detailních simulací nebo měření motoru.
- Podkladem pro identifikaci dynamických map jsou následující manévry provedené ve vhodných intervalech v celé pracovní charakteristice motoru:
 - Odezva motoru na náhlou změnu požadovaného momentu z aktuálního pracovního bodu až na maximální moment motoru při zachování konstantních otáček motoru
 - Odezva motoru na náhlou změnu zátěže při zachování konstantní polohy regulačního orgánu

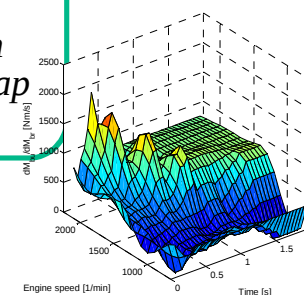
*Soubor výsledků z detailního
simulačního
modelu nebo
měření*



*Automatická
identifikace
parciálních
derivací*



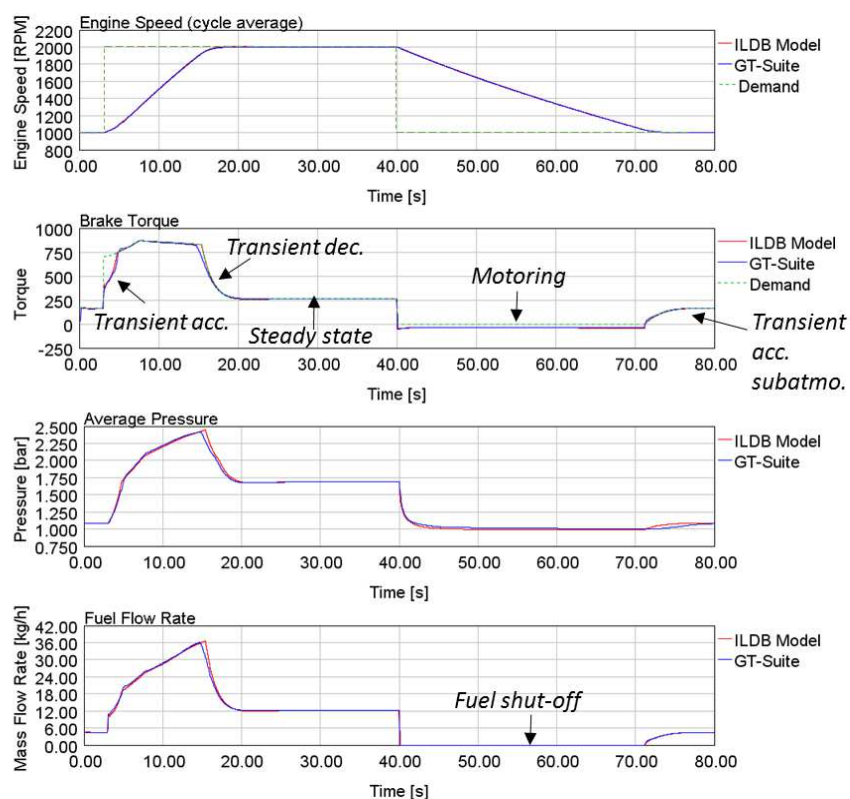
*Vytvoření
dynamických
motorových map*



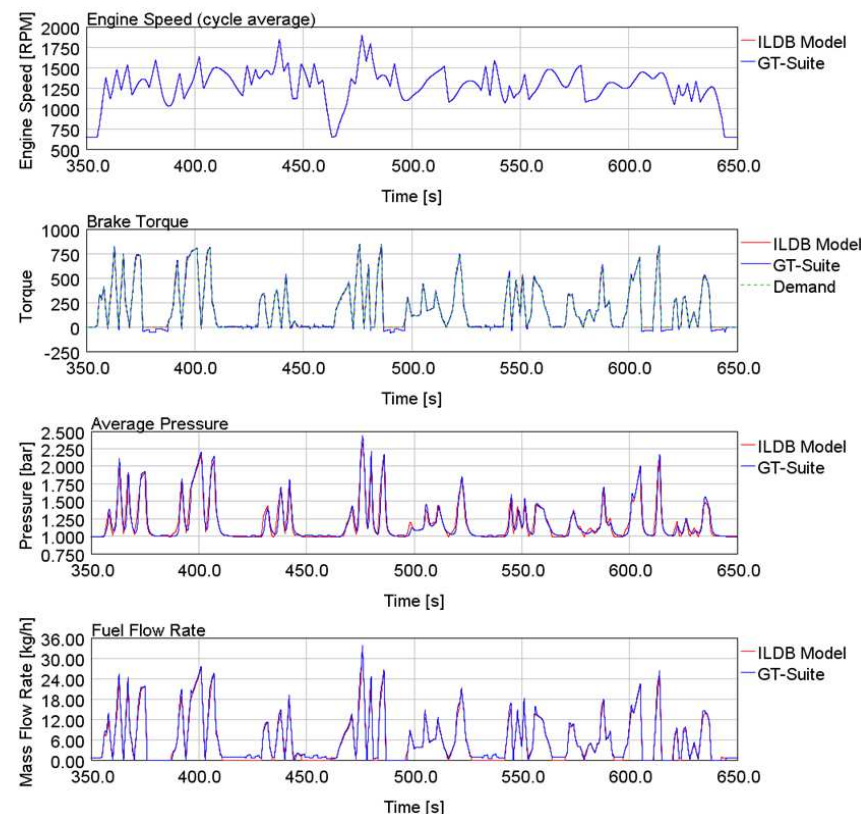


Popis plnění balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

- **Dynamický model spalovacího motoru ILDB:**
- Porovnání výsledků simulací vznětového motoru IVECO v **GT Suite** (1D CFD Simulace) a **RideSim** (ILDB):



Simulace jednoduchého přechodového manévru s modelem vozidla

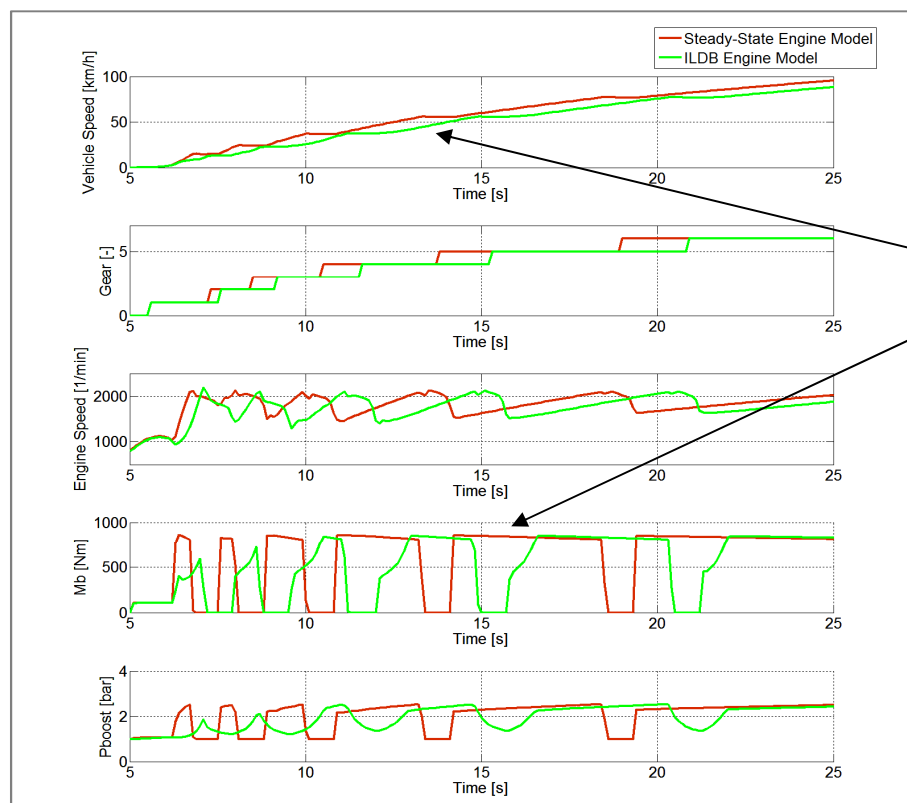


Simulace dynamometrického cyklu WLTC



Popis plnění balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

- **Dynamický model spalovacího motoru ILDB:**
 - Porovnání výsledků simulací akcelerace malého nákladního vozidla s **quasi-statickým** modelem a s **ILDB** modelem spalovacího motoru



Znalost chování motoru během přechodových režimů výrazně zvyšuje přesnost simulace jízdy vozidel s přepínaným spalovacím motorem v dynamických jízdních cyklech



Popis plnění balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

Barák, A. *Powertrains Evaluation Tool for Current and Future Vehicle*. Beijing : Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress, SAE-China, 2012. pp. 1807-1821. ISBN: 978-3-642-33738-3.

Barák, A. - Macek, J. - Doleček, V. *Fast Engine Model for Prediction of Dynamic Features of Turbocharged Engines Using Investigation of Local Dynamic Behavior*. Brno : Proceedings of the XLVII. International Scientific Conference of the Czech and Slovak University Departments and Institutions Dealing with the Research of Internal Combustion Engines – KOKA 2016, 2016. ISBN: 978-80-214-5379-1.

Barák, A. - Červenka, L. - Klír, V. *Powertrain Simulation Tool*. Praha : MECCA- Journal of Middle European Construction and Design of Cars, 2010. ISSN: 12-10-9592.

Barák, A. - Klír, V. - Červenka, L. *Powertrain Simulation Tool*. Torino : SAE Technical Paper Series, 2011. Paper: 2011-37-0027.

Barák, A. and Klír, V. *Simulation of Conventional, Hybrid and Electric Vehicles in Transient Driving Cycle*. FISITA : Proceeding of the Fisita 2014 World Automotive Congress, 2014. USB Key.

Steinbauer, P. - Macek, J. - Morkus, J. - Denk, P. - Šika, Z. - Barák, A. *Dynamic Optimization of the E-Vehicle Route Profile*. Detroit : SAE Technical Paper Series, 2016. Paper: 2016-01-0156.

Barák, A., Červenka, L. and Klír, V. *Powertrain Simulation Tool*. MECCA- Journal of Middle European Construction and Design of Cars. Praha : Czech Technical University, 2010.

Barák, A., Klír, V. and Gotfrýd, O. *Simulation And Tests Of Hybrid Vehicles In Transient Driving Cycles*. Brno : Proceedings of the XLIV. International Scientific Conference of the Czech and Slovak University Departments and Institutions Dealing with the Research of Internal Combustion Engines – KOKA 2013, 2013. ISBN: 978-80-7375-801-1.



Popis plnění balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

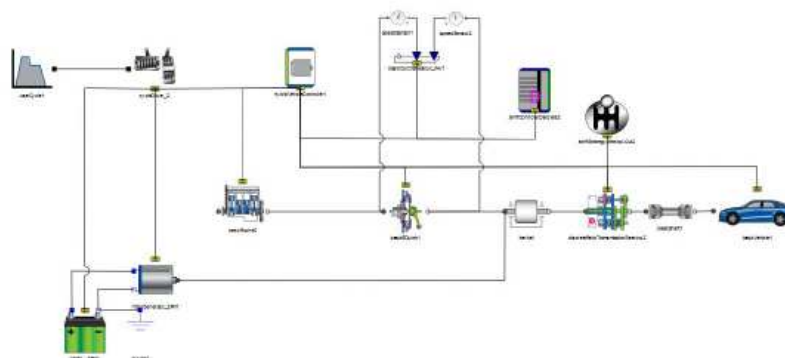
WP25V004: Metodika uspořádání nových koncepcí hnacích ústrojí – TUL.

V roce 2017 práce pokračovali na identifikaci vlastností hnacích agregátů. Bylo provedeno měření úplné charakteristiky spalovacího motoru 1.0 TSI a elektromotoru ZERO Z-FORCE 75-7 v laboratořích pracoviště. Zjištěné vlastnosti obou agregátů byly využity v softwaru Ricardo Ignite při simulaci hybridního uspořádání hnacích ústrojí vozidel.

elektromotor ZERO Z-FORCE 75-7



spalovací motor 1.0 TSI



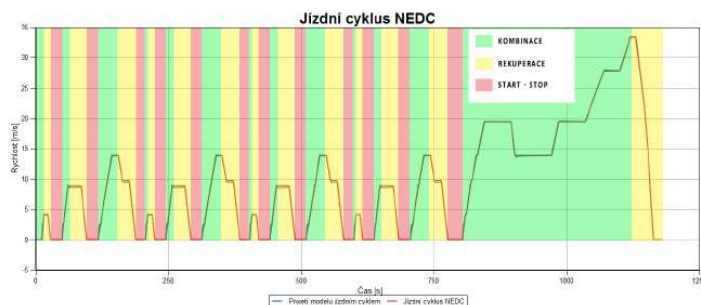
Jedno ze simulovaných hybridních uspořádání hnacího ústrojí v softwaru Ricardo Ignite.



Popis plnění balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

WP25V004: Metodika uspořádání nových koncepcí hnacích ústrojí – TUL.

V simulačních modelech byla porovnávána různá koncepční uspořádání hybridního ústrojí vozidla se zvolenými hnacími agregáty na trajektoriích jízdních testů – NEDC a WLTP s cílem zajištění co nejmenší spotřeby paliva. Vlastnosti hybridního ústrojí byly také posuzovány pro různá vozidla z hlediska hmotnosti, karoserie atd.. Bylo zkoušeno také různé nastavení využití jednotlivých pohonů.



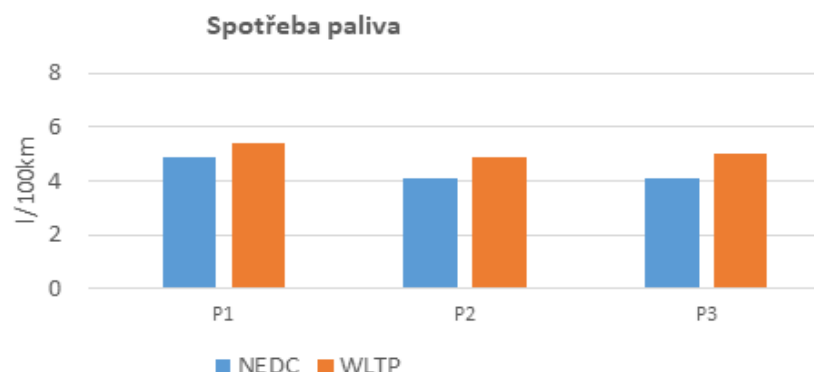
Využívání jednotlivých typů pohonů během simulovaného NEDC a WLTP testu – ukázka výsledků.



Popis plnění balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

WP25V004: Metodika uspořádání nových koncepcí hnacích ústrojí – TUL.

Díličí výsledky byly publikovány v příspěvku na konferenci KOKA 2017 s názvem SIMULACE JÍZDY HYBRIDNÍHO VOZIDLA.



Ukázka možného vlivu umístění elektrického pohonu v rámci hybridní koncepce hnacího ústrojí vozidla na NEDC a WLTP testu (P1 – připojení elektromotoru za spalovací motor, P2 – připojení elektromotoru za spojku, P3 – připojení elektromotoru za převodové ústrojí).



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

Plnění cílů

Verifikace metod pro experimentální optimalizaci emisí za dynamiky.

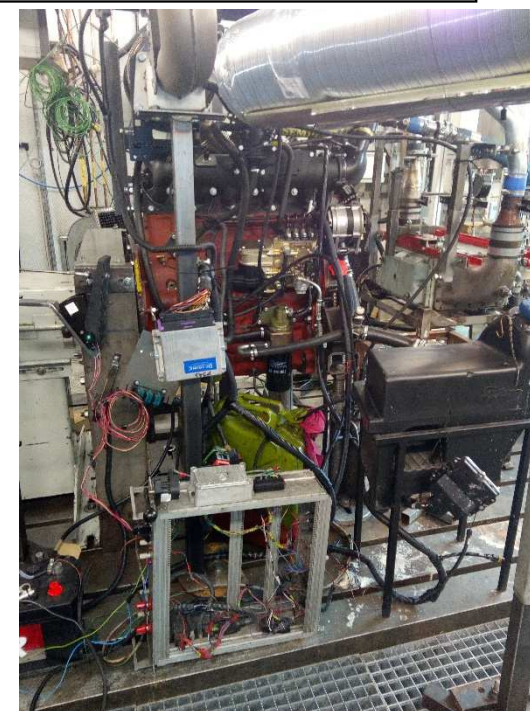
- Na motoru Zetor byla provedena emisní optimalizace v dynamickém cyklu NRTC

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

- Byl vytvořen softwarový nástroj pro určení chování spalovacího motoru během přechodových dějů vhodný pro DASY.

Metody pro optimalizaci modelu vozidla pro redukci CO₂

- Změřené charakteristiky spalovacího motoru a elektromotoru byly použity v software Ricardo Ignite k simulaci několika variant uspořádání hnacích jednotek u hybridního uspořádání. Příspěvek na konferenci KOKA 2017.





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

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

WP25V005: Matematický model systému pro rekuperaci kinetické energie.

a/ Software zahrnující matematický model systému pro rekuperaci kinetické energie.

b/ Technická zpráva (ČVUT).

WP25V006: Rychlý simulační nástroj pro předpověď chování vozidla v přechodových režimech vhodný pro různé operační módy.

a/ Dokončený simulační nástroj pro simulaci chování vozidla v dynamickém jízdním cyklu, který bude díky jeho modularitě možné aplikovat na libovolný pohonný řetězec a vozidlo v DASY.

b/ Technická zpráva (ČVUT).

Výsledky by měly být zadány do RIV.



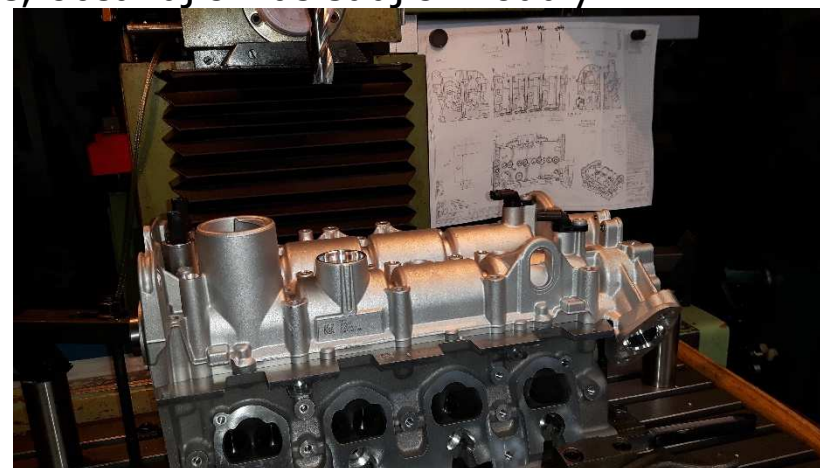
Zhodnocení dopadu výsledků balíčku WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

Celkové zhodnocení dopadu výsledků a jejich průběžná i budoucí realizace

Vznikla materiálově, metodicky a odborně vybavená pracoviště schopná realizovat experimentální optimalizaci motoru a celého pohonného řetězce nejen z hlediska emisí a spotřeby paliva.

Byl vytvořený simulační nástroj pohonného řetězce, obsahující následující moduly:

- ✓ Quasi-statický a dynamický model spalovacího motoru,
- ✓ Dvouhmotový setrvačnick,
- ✓ Třecí spojka,
- ✓ Jedno- a vícestupňové převodovka, CVT převodovka
- ✓ Diferenciál,
- ✓ Kolo/pneumatika
- ✓ Jízdní odpory vozidla
- ✓ Zásobník elektrické energie (trakční baterie)
- ✓ Systém pro rekuperaci kinetické energie
- ✓ Elektromotor a řídicí elektronika



Probíhá spolupráce hlavně v rámci WP20 při přípravě a realizaci experimentů. Předpokládá se další využití výsledků v rámci komerčních i grantových zakázek.

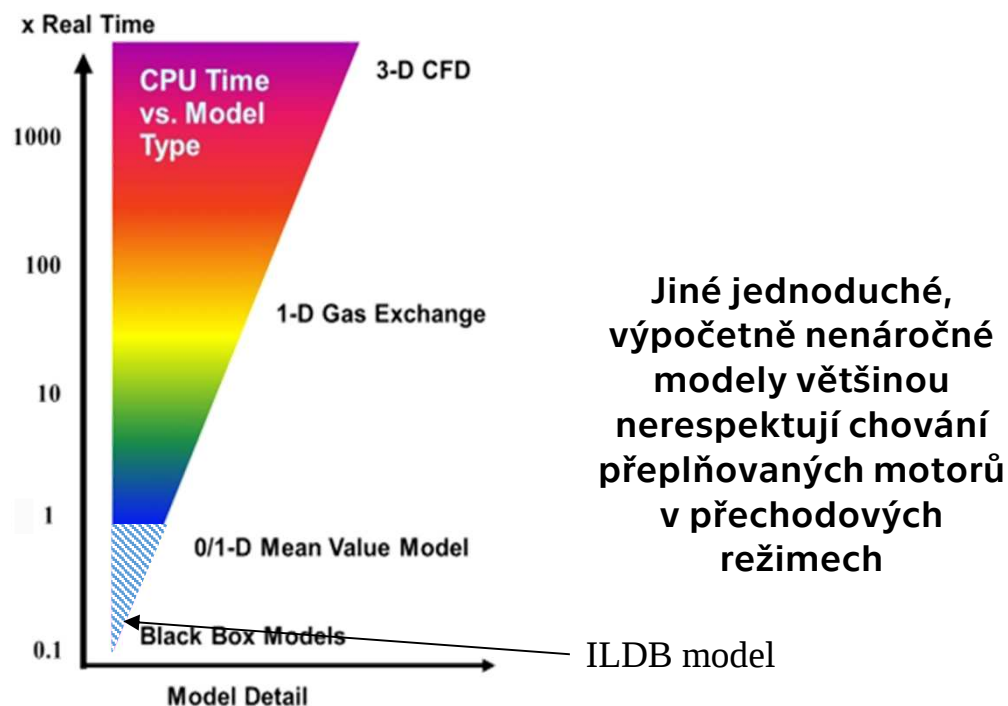


Výtah z prací 2012-2017 na WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

ČVUT Byl vytvořen simulační nástroj pro určení chování spalovacího motoru během přechodových režimů. Byl vytvořen model popisující zásobníky elektrické energie a elektrického stroje použitelný v hybridních vozidlech. Model umožňuje výpočet výkonů, účinnosti, spotřeby a dynamiky vozidla v libovolném jízdním cyklu. Ověření modelu přepínávaného motoru bylo provedeno s výsledky v GT Suite

TÜV SÜD Czech Byla připravena měřicí základna pro experimentální výzkum emisí a účinnosti motoru, která odpovídá i legislativním požadavkům. Metodika provádění emisního měření a experimentální optimalizace emisí byla ověřena na motoru Zetor.

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



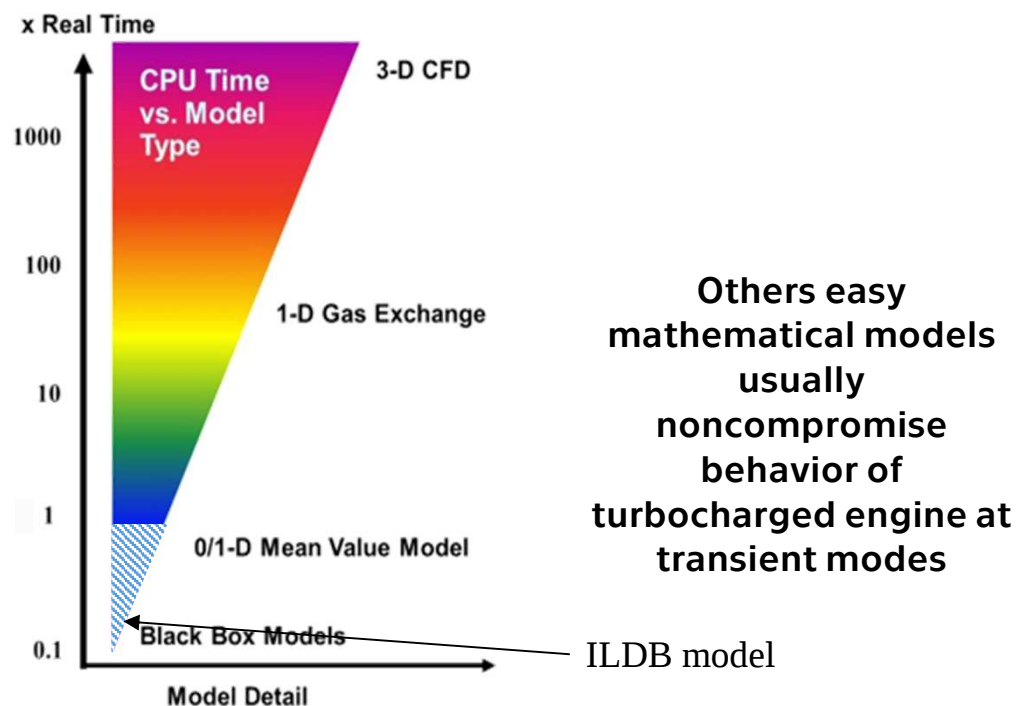


Results of WP 25 Advanced testing methods for internal combustion engines and powertrain - Achieved 2012-2017

ČVUT Combustion engine simulation model for transient condition was prepared. Hybrid vehicle power distribution simulation model was created. Simulation model can predict power, efficiency, fuel consumption and dynamic at every driving cycle. 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. Methodology for exhaust emission measurement and experimental optimisation was used for C.I. Engine Zetor

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





Výťah 2017 z provedených prací na WP25 Pokročilé zkušební metody pro spalovací motory

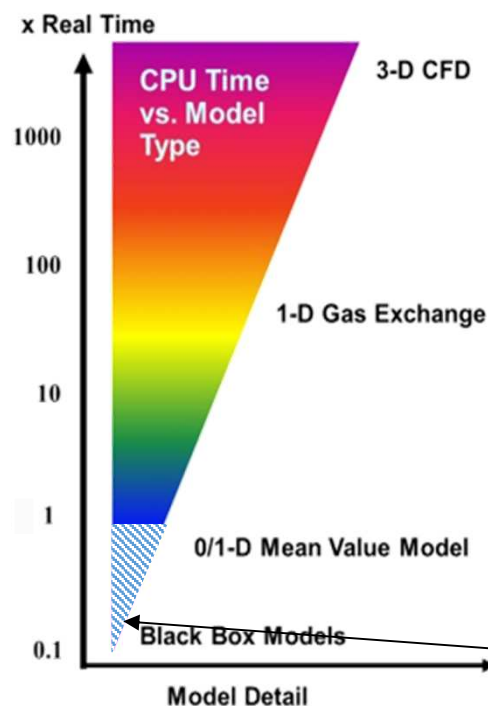
ČVUT Byl dokončen simulační nástroj pro simulaci chování vozidla v dynamickém jízdním cyklu, který bude díky jeho modularitě možné aplikovat na libovolný pohonný řetězec a vozidlo v DASY

TÜV SÜD Czech Na motoru Zetor byla ověřena metodika měření a optimalizace emisí v dynamickém cyklu

TUL Změřené charakteristiky spalovacího motoru a elektromotoru byly použity v software Ricardo Ignite k simulaci několika variant uspořádání hnacích jednotek u hybridního uspořádání



Electric motor
ZERO Z-FORCE 75-7



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

ILDB model



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

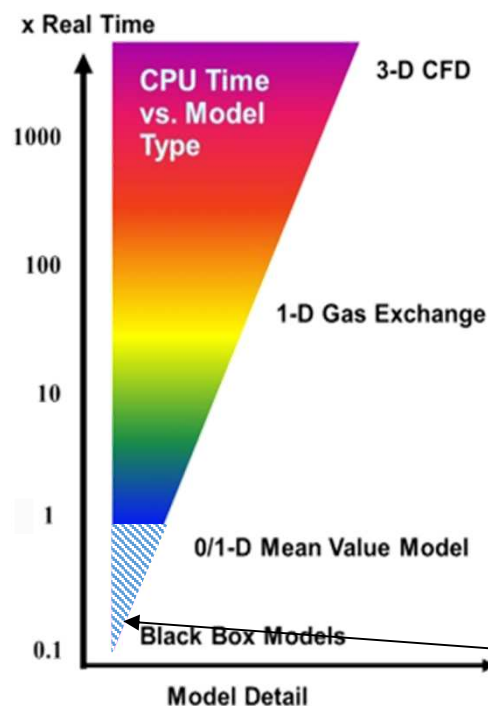
ČVUT A simulation tool to simulate vehicle behavior in a dynamic driving cycle has been completed, which, thanks to its modularity, can be applied to any driving chain and vehicle in DASY

TÜV SÜD Czech The Zetor engine has been tested with a methodology for measuring and optimizing emissions in the dynamic cycle

TUL The measured characteristics of the internal combustion engine and the electric motor were used in the Ricardo Ignite software to simulate several variants of the drive units in a hybrid arrangement



elektromotor
ZERO Z-FORCE 75-7



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

ILDB model