

# Optimální kalibrace spalovacího motoru

Optimalizovaná kalibrace spalovacího motoru je naprosto nezbytná, pokud chcete dosáhnout vyvážené kombinace dynamického výkonu a šetrnosti k životnímu prostředí. Nastavení dnešních komplexních pohonů s mnoha stupni volnosti však není jednoduchou záležitostí ani pro zkušené konstruktéry. Existuje zde příliš mnoho variant, než aby bylo možné testovat všechny kombinace proměnných veličin individuálně, a vztahy mezi výkonem, efektivitou, emisemi a spolehlivostí jsou velmi složité.

Společnost Mercedes-AMG vyvinula vlastní nástroj pro kalibraci pohonů založený na výpočetním prostředí MATLAB a jeho nadstavbách Model-Based Calibration Toolbox a Parallel Computing Toolbox (obr.1). Z jeho výhod mohou těžit vývojáři na všech úrovních. Nástroj je využíván v celém procesu kalibrace od návrhu experimentů přes tvorbu a výběr modelu až po optimalizační úlohy.



Obr.1 Hlavní menu programu pro kalibraci pohonů

## Úloha kalibrace ve vývoji motoru

Chování motoru závisí na přesném řízení velkého množství parametrů, jejichž počet se rok od roku zvyšuje. Dnešní řídicí jednotky kupříkladu umožňují opakovaný vstřik paliva během spalovacího cyklu, každý s odlišným množstvím pohonné látky, což zavádí do problematiky mnohem více parametrů než jednorázový vstřik. Kalibrace motoru představuje ladění všech dostupných parametrů za účelem získání maximálního výkonu napříč pracovním rozsahem otáček a zatížení.

Účinky změn jednotlivých parametrů na sobě závislé, proto není možné jednoduše optimalizovat parametry jeden po druhém. Na druhé straně zde máme více než tucet proměnných, každou s celou škálou možných hodnot, proto není možné ani testování všech kombinací. Východiskem z této situace je metoda zvaná návrh experimentů (Design of Experiments), která pomocí plánovaných testů efektivně určuje povahu odezvy pohonu. Navržený kalibrační nástroj umožnil aplikovat návrh experimentů jako součást souhrnného kalibračního procesu a to i vývojářům bez předchozích zkušeností s touto metodou.

## Vytvoření vlastního kalibračního nástroje

Kalibrační nástroj byl vyvinut ve třech fázích. V první bylo nutné ustanovit celý proces robustního návrhu, modelování a optimalizace pro systematickou kalibraci motorů. Práci usnadnilo dodávané grafické rozhraní Model-Based Calibration Toolboxu.

Po ustanovení kalibračního procesu byly jednotlivé kroky převedeny z grafického rozhraní do funkcí Model-Based Calibration Toolboxu volaných z příkazové řádky MATLABu. Cílem bylo připravit vlastní aplikaci, která pracovala se specifickými vstupy z výrobního procesu a umožnila snadno zahrnout požadavky vývojových inženýrů. Z toho důvodu bylo ve třetí fázi vytvořeno nové aplikační rozhraní, které volalo potřebné funkce a bylo přizpůsobeno konkrétním potřebám vývojářů firmy AMG.

## Kalibrační proces

V kalibračním procesu je nutné nejprve zadat známá omezení proměnných veličin, jako jsou minimální a maximální objemy

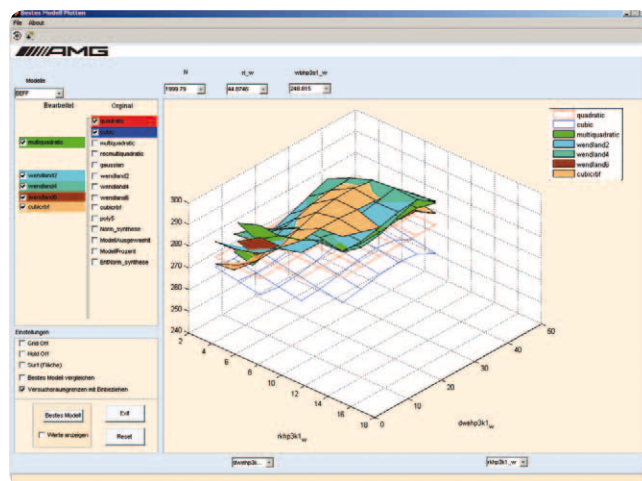
vstřikovaného paliva (v mg/vstřik) nebo mezní časy pro zapalování (měřené v úhlech natočení klikové hřídele). Aplikační rozhraní požaduje pouze ty údaje, které jsou vývojovými inženýry schopni poskytnout. Nástroj poté zavolá funkce Model-Based Calibration Toolboxu pro vytvoření minimální sady testovacích bodů určených k proměření motoru na dynamometru.

Zjištěné údaje o kroutícím momentu, emisích a spotřebě paliva jsou poté přeneseny zpět do kalibračního nástroje, který vytvoří sadu matematických modelů daného motoru (Obr. 2). Generování modelů a vyhodnocení vhodných kandidátů je výpočetně náročná úloha. K jejímu urychlení byly využity schopnosti MATLABu pracovat s vícejádrovými procesory, kde je výpočetní zátěž rozložena do několika paralelních procesů.

Posledním krokem je optimalizace kalibračních nastavení napříč pracovním rozsahem otáček a zatížení. Je možné například specifikovat emisní limity pro splnění regulačních opatření a zadat omezení spotřeby paliva. Aplikace pak vypočítá optimální průběh kroutícího momentu s ohledem na výkon motoru. Řešením této rozsáhlé podmíněné optimalizační úlohy jsou tabulkové funkce připravené k exportu do elektronické řídicí jednotky pohonu.

## Závěr

MATLAB a funkce Model-Based Calibration Toolboxu umožnily vytvořit efektivní řešení, které bylo bez potíží začleněno do stávajícího kalibračního procesu. Hlavní výhodou vlastního kalibračního nástroje je respektování veškerých potřeb vývojářů, kteří se tak mohou zaměřit na specifické požadavky vyvíjených motorů. Mezi splněné cíle patřilo například dosažení souladu s normou Euro 6.



Obr.2 Porovnání a výběr modelu



HUMUSOFT s.r.o.

distributor produktů společnosti MathWorks v ČR a SR  
Pobřežní 20, 186 00 Praha 8, ČR  
Tel.: +420 2 84 01 17 30  
Fax: +420 2 84 01 17 40  
e-mail: info@humusoft.cz  
www.humusoft.cz