

Porovnání výkonu a emisí u dvoupalivového vznětového motoru

Cílem měření bylo zjistit vliv rozdílných kapalných paliv vhodných pro dvoupalivové (duální) vznětové motory, u nichž ve vhodných režimech dochází ke spalování připravené (přibližně homogenní) směsi zemního plynu a vzduchu iniciovaného vznícením kapalného paliva. Takto provozovaný motor je pro účely tohoto článku nadále nazýván zjednodušeně jako duální. Posuzován byl vliv na základní energetické parametry (P_i a $ISHC$) a tvorbu emisí včetně emisí částic. Dále byly porovnávány vlastnosti vstřikovače z hlediska jeho zanášení.

Klíčová slova: dvoupalivový spalovací motor, biopaliva, škodlivé emise, výkon motoru

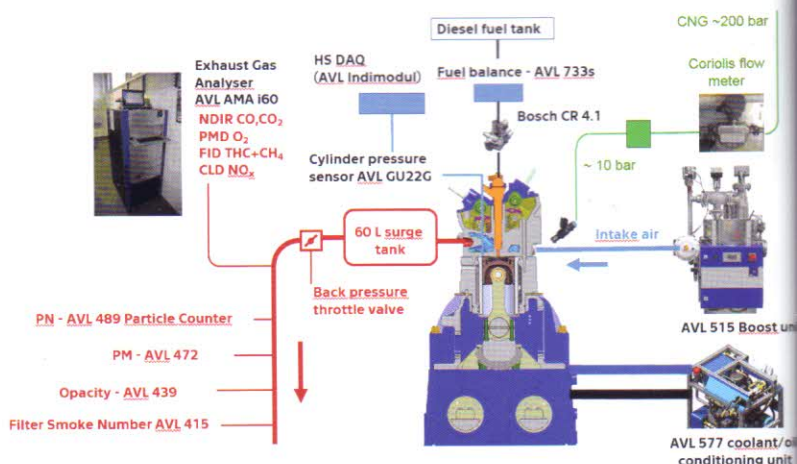
Jednou z možností, jak optimalizovat, popř. snižovat provozní náklady u zemědělských mobilních energetických prostředků, je přestavba spalovacího naftového motoru na duální systém. Základní princip této varianty přestavby spočívá ve spalování směsi plynu, kapalného paliva a vzduchu.

Tento systém s sebou nese určité nároky na provoz. Na mobilní prostředek musí být namontovány dodatečně tlakové nádoby jako zásobníky stlačeného plynu, které musí splňovat bezpečnostní hlediska. Přestavba na duální pohon však vyžaduje jen minimální zásahy do konstrukce dieselového motoru.

Velkou výhodou tohoto systému je, že vypnutím duálního plynového systému, nebo když dojde stlačený zemní plyn (CNG) v tlakových nádržích traktoru, může být traktor provozován plnohodnotně na samotné kapalné palivo, tedy motorovou naftou. To je zásadní rozdíl od klasických plynových motorů provozovaných na mobilních prostředcích, kde v případě nedostatku CNG nelze motor provozovat v jiném režimu a stroj musí být odtažen, popř. palivo doplněno z mobilní plnicí CNG stanice.

Tato varianta dvoupalivového (duálního) systému se jeví jako vhodná. Na traktor, jako energetický prostředek, je v zemědělství kladen vysoký nárok na využití výkonu motoru, provozní spolehlivost a v neposlední řadě i ekonomiku provozu. Snižování výkonu motoru by při práci v polních podmínkách mohlo znamenat snížení pracovní rychlosti a zhoršení kvality práce, popř. výrazné snížení výkonosti linky, a tím zvýšení měrné spotřeby paliva. Proto je kladen velký důraz na funkčnost systému a provozní nastavení celého motoru. Dlouhodobé používání vícepalivových systémů nesmí mít vliv na provozní spolehlivost a životnost motoru.

To jsou hlavní důvody, proč byl duální systém ověřován na modelovém zkušebním jednoválci. Po ověření a optimalizaci parametrů na vznětovém jednoválcovém motoru byl tento duální systém nainstalován do traktorového motoru Zetor 105 40 za účelem ověření práce traktoru v dlouhodobých zkouškách.



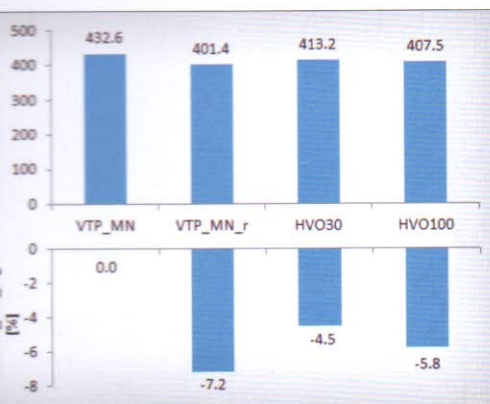
Obr. 1 – Schéma měřicího stanoviště

Materiál a metody

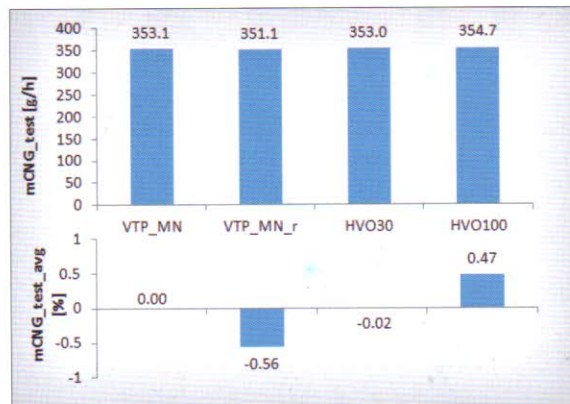
Měření probíhala na výzkumném vznětovém jednoválcovém motoru AVL. Motor je vybaven soudobým vstřikovacím systémem typu common rail a řízen otevřenou řídicí jednotkou. Zvolený testovací cyklus byl založen na třináctibodovém stacionárním testu WHSC.

Pro testování vlivu paliv byl zvolen experimentální vznětový jednoválec AVL Typ 5402.088 instalovaný v sestavě 'AVL Compact Single Cylinder Test Bed'. Pro zlepšení opakovatelnosti měření je v sestavě použito externí zařízení AVL 577 sloužící k udržování konstantního tlaku a teploty oleje a chladicí kapaliny. Motor má tedy suchou klikovou skříň a nemá vlastní čerpadlo na olej a chladicí médium. Vzduch nasávaný do motoru pak aktivuje zařízení AVL 515. Tímto zařízením jsou udržovány na konstantních hodnotách plnicí tlak a teplota nasávaného vzduchu. Jako zdroj tlaku slouží externí kompresor. Výfuk je vybaven ukliďovací nádobou o objemu 60 l, za níž je umístěna proporcionálně elektronicky řízená škrtící klapka kontrolující protitlak ve výfuku. Tato soustava umožňuje do značné míry nezávislé nastavení plnicího a výfukového tlaku. Základní parametry motoru, dynamometru a příslušenství jsou pak uvedeny v tab. 1.

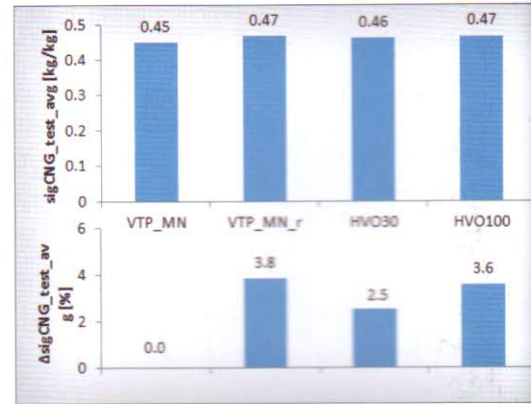
Testovanými palivy byly referenční motorová nafta (bez biosložky, označení VTP_MN a VTP_MN_r – opakovací měření), referenční motorová nafta s 30% hydrogenizovaným rostlinným olejem (HVO) a 100% palivo HVO (dále označováno jako HVO30



Obr. 2 – Vážený průtok kapalného paliva v cyklu WHSC – porovnání testovaných paliv



Obr. 3 – Vážený průtok zemního plynu v cyklu WHSC – porovnání testovaných paliv



Obr. 4 – Hmotnostní podíl zemního plynu vzhledem k celkové spotřebované palivu v cyklu WHSC – porovnání testovaných paliv

Tab. 1 – Parametry motoru, dynamometru a příslušenství

Vrtání/zdvih, kompresní poměr	85 x 90 mm, 14:1
Maximální spalovací tlak	150 bar
Maximální rychlost nárůstu spalovacího tlaku	10 bar/deg CA
Konfigurace ventilů a sacího traktu	2 sací a 2 výfukové ventily, tangenciální, neutrální a spirálový sací kanál
Vstřikování kapalného paliva	BOSCH Common Rail CP4.1 (maximální vstřikovací tlak 1800 bar) vstřikovač VW 03L130277Q (2.0 CR TDI), tryska 8 x φ0,12 mm x 162°
Vefukování plynného paliva	vstřikovač VW PFI CNG
Maximální otáčky dynamometru/ motoru	8000 ot/min/4200 ot/min
Řídicí jednotka vstřikování	otevřená řídicí jednotka Ricardo rCube2 + kalibrační SW/HW ETAS INCA v 7.0
Jmenovitý moment/výkon dynamometru	180 Nm (0–3000 ot/min) / 58 kW (3000–8000 ot/min)
Chlazení/ohřev oleje a chladicí kapaliny	AVL 577 – jednotka pro dodávku a úpravu chladicí kapaliny a mazacího oleje
teplota chladicí kapaliny	nastavitelná v rozsahu 35–120 °C
teplota mazacího oleje	nastavitelná v rozsahu 35–110 °C
Příprava nasávaného vzduchu	AVL 515 – přeplňovací jednotka udržující tlak a teplotu nasávaného vzduchu
teplota nasávaného vzduchu	nastavitelná v rozsahu 30–120 °C
tlak nasávaného vzduchu	nastavitelný v rozsahu 1–4 bar absolutně
Udržování teploty paliva	vlastní zařízení

Tab. 2 – Použité měřicí zařízení

Zařízení	Označení
Palivové váhy pro kapalné palivo	AVL 733
Hmotnostní průtokoměr pro plynné palivo	Micro Motion Coriolis 2700/CMFS010P
Indikace rychle proměnlivých tlaků	AVL INDIMODUL/INDICOM
Zesilovač naboje	AVL micro IFEM
Tlakový snímač ve válci	AVL GU22C
Testovací stolice pro vstřikovače common rail	ITB 240 RC–V
Analyzátor plynných složek v surových nezředěných spalínách	AVL AMA i60
Měření kouřivosti	AVL 415SE
Měření opacit	AVL 439
Gravimetrické měření částic	AVL 472 Smart Sampler
Čítání počtu částic	AVL PC 489
Váha pro gravimetrické měření částic	Sartorius CP2P-F

a HVO100). Všechny varianty testovaných paliv byly provedeny v duální režimu (tj. kapalné palivo a plyn CNG). Pro verifikaci opakovatelnosti měření a odhad vlivu zanášení vstřikovače byl test s referenční naftou proveden dvakrát, a to jako první a jako poslední ze série měření. Celkem tedy byla provedena čtyři měření. Zemní plyn byl přiveden z vysokotlakého rozvodu zkušebny (200 bar) přes Coriolisův hmotnostní průtokoměr a regulátor tlaku (výstup 10 bar) do tlakového zásobníku. Odtud byl zemní plyn vpravován do tangenciálního sacího kanálu prostřednictvím vefukovacího ventilu ovládaného řídicí jednotkou. Použitý spalovací prostor byl originální, určený pro čistě vznětový motor a nebyl optimalizován pro duální provoz a spalování homogenní směsi. Motor nebyl vybaven žhavicí svíčkou. Motor byl řízen otevřenou řídicí jednotkou, prostřednictvím vlastního kódu sestaveného v prostředí Simulink.

Plynné emise látek regulovaných legislativou byly měřeny sestavou analyzátorů AMA i60 (organické plynné látky – plameno-ionizační detektor s vyhřívanou vzorkovací trati na 191 °C; oxid uhelnatý – nedisperzní infračervený spektrometr; oxidy dusíku – chemiluminiscenční detektor; dodavatel AVL List, Graz, Rakousko). Dále byly měřeny koncentrace oxidu uhličitého nedisperzním infračerveným spektrometrem a kyslíku paramagnetickým detektorem. Kouřivost byla průběžně měřena opacimetrem (AVL 439), emise částic pak jednak průběžně butanolovým čítačem částic (AVL 489 Particle Counter; zařízení používané pro měření podle metodiky PMP (Particle Measurement Programme) při typovém schválení podle normy Euro 6), jednak diskrétně v ustálených měřících bodech gravimetrickou metodou. Kouřivost motoru byla sledována také papírkovým kouřoměrem AVL 415 SE.

Pro gravimetrickou analýzu celkové hmotnosti emitovaných částic bylo využito vzorkovací zařízení AVL 472 Smart Sampler s ředěním vzorkované části toku výfukových plynů v ředicím minutuvalu. Vzorek výfukových plynů byl přiveden do ředicího tunelu v bezprostřední blízkosti výfukového potrubí vyhřívanou trubicí o teplotě 160 °C, zředěn v konstantním poměru 5 : 1 filtrovaným vzduchem, a prosáván filtrem z borosilikátových vláken potažených teflonem (Pallflex TX-40HI20-WWW, Pall, USA) o průměru 70 mm. Průtok filtrem byl 2 g/s a teplota na filtru byla v rozmezí 25–40 °C. Délka vzorkování byla volena tak, aby byl získán reprezentativní vzorek s ohledem na zvolené váhy jednotlivých bodů, tj. aby prosáté množství výfukových plynů bylo úměrné součinu váhového faktoru a toku výfukových plynů v každém z bodů zkušebního cyklu. Vzorkování bylo načasováno tak, aby začalo nejdříve 5 min a končilo nejdéle 10 s před koncem každého režimu. Výpočet měrné hmotové emise pevných částic za test byl prováděn pomocí softwaru příslušejícího k zařízení AVL-472. Tento výpočet zahrnuje korekce na skutečně dosažené hodnoty ředění a časů sání skrze filtr. Jednotlivé body a jejich váhy jsou uvedeny dále v tab. 3.

Filtry byly před expozicí a po ní ustalovány po dobu 24 hodin a jejich hmotnost byla stanovena na mikrováhách. Pro kontrolu byly filtry váženy opakovaně. Při každém vážení byla ověřena hmotnost nejméně jednoho referenčního filtru uchovávaného ve stejných podmínkách. Odchytky vážení referenčních filtrů byly maximálně do tří setin mg, což lze považovat za postačující vzhledem k hmotnosti filtru 190 mg a zvýšení hmotnosti částic asi 1–16 mg. Výpočet měrných emisí byl prováděn za použití softwaru příslušného měřicího zařízení. Odběr pro všechny vzorky byl realizován z výfukového potrubí motoru. Motor nebyl vybaven žádným zařízením pro dodatečnou úpravu spalín. Zároveň na motoru nebyl aktivní systém recirkulace výfukových spalín EGR. Schéma měřicího stanoviště je uvedeno na obr. 1. Pro měření bylo kvalifikovaným úsudkem vybráno dvanáct kombinací otáček a zatížení motoru, tak, aby pokryly nejčastěji využívané provozní body motoru. Základem pro výběr těchto bodů byl třináctibodový cyklus WHSC – (světový harmonizovaný stacionární cyklus) složený z ustálených provozních režimů pokrývajících celý pracovní rozsah otáček a zatížení motoru [EN 590]. První a poslední bod





Váš profi servis pro hydrostatické a hydraulické systémy

- ✓ Prodej a servis hydrostatických a hydraulických systémů
SAUER DANFOSS, REXROTH, LINDE, POCLINE
- ✓ Opravy řídicích jednotek na zemědělské stroje
- ✓ Přístrojové desky, radary, monitory
- ✓ Ovládací panely, multifunkční páky






Kontakt:
Radek a Petra Krejčířkovi – Velké Pavlovice
Prodej a servis: +420 725 280 791
ND a logistika: +420 775 574 361
Email: argservis@gmail.com, www.argservis.cz

je volnoběh, který je tak součástí testu dvakrát. Body pro cyklus byly vybrány na základě vnější rychlostní charakteristiky výzkumného jednoválce definované pro duální provoz, a to v rámci možností mechanického a tepelného namáhání částí motoru a s přihlédnutím k možnostem řídicí jednotky motoru. Charakterizace zvolených bodů je uvedena níže v tab. 3. Jelikož se jedná o motor s netradičním pohonem přídatných agregátů, a tedy i nereprezentativní úrovní pasivních odporů (externě poháněné čerpadlo chladicí kapaliny a mazacího oleje, z klikového hřídele je odebíráný pohon pro dvojici v-važovacích hřídelů a vysokotlakého vstřikovacího čerpadla z plněrozměrového motoru), byla pro určení úrovně zatížení použita hodnota středního indikovaného tlaku ve válci.

Všechny prezentované energetické a emisní parametry motoru, uváděné v této zprávě, jsou tedy vztaženy k indikovanému výkonu. Nebyla provedena korekce s ohledem na aktuální atmosférické podmínky. Pro každé testované palivo byl motor nejprve temperován cirkulací provozních kapalin (85 °C olej a 80 °C chladicí kapalina). Následně byl motor uveden do chodu a poté po dobu 10 minut provozován ve vyšším zatížení a po dobu 5 minut v nízkém zatížení v režimu atmosférického vznětového motoru. Tento postup sloužil jednak k vyčerpání paliva z palivových vah jakožto dokončení procesu výměny paliva a proplachu palivového systému, jednak ke kontrole stavu motoru. Dále už následoval samotný test trvající 10 minut v každém zvoleném bodě. Teplota plnicího vzduchu byla nastavena a udržována na konstantní hodnotě 30 °C. Cyklus byl modifikován tak, aby byl minimalizován čas plynulého přechodu mezi jednotlivými pracovními body. Motor po skončení režimu přešel pomocí tzv. rampy do protáčení a po dosažení předepsaného plnicího tlaku, předepsané polohy škrťací klapky ve výfuku a předepsaných otáček přešel pomocí stejné rampy na požadovanou zátěž. Dále pak probíhala stabilizace režimu. Celková délka režimů, (včetně přechodové části), byla prodloužena na 10 min. Tím bylo dosaženo potřebného ustálení měřených veličin v každém pracovním bodě. Měřené veličiny byly stanoveny jako 30 s průměr počítaný v čase 8 min 30 s až 9 min 0 s daného bodu. Pouze údaj z palivových vah byl pro zvýšení přesnosti měření průtoku kapalného paliva průměrován

Tab. 3. – Definice provozních bodů při měření na duálním motoru

Pracovní bod#	Otáčky motoru n (ot/min)	IMEP (kPa)	Pairset (kPa)	EGP set (V)	Akcelerátor (%)	Váhový faktor (1)	Čas módu/vzorkování AVL 472 (s)
1	800	142	0	8.8	9.6	0.112	275/39.2
2	2 499	1 200	88	8.2	100	0.026	275/54.1
3 ⁽²⁾	2 499	300	20	8.3	25	0.132	275/172.6
4 ^{(1),(2)}	2 499	780	45	8.3	70	0.039	275/61.9
5 ⁽²⁾	1 881	1 250	88	8.8	100	0.026	275/40.1
6 ⁽²⁾	1 572	360	5	8.8	24	0.105	275/75.2
7 ^{(1),(2)}	2 190	865	40	8.5	70	0.039	275/53.1
8 ⁽²⁾	2 190	338	14	8.1	25	0.079	275/86.8
9 ^{(1),(2)}	2 499	570	24	8.1	50	0.066	275/88.9
10	3 117	1 050	60	7.8	100	0.026	275/57.8
11 ^{(1),(2)}	1 881	630	25	8.2	46.4	0.105	275/107.3
12 ⁽²⁾	1 881	358	10	8	25	0.132	275/118.1
13	800	142	0	8.8	9.6	0.112	275/37.7

¹ Nutnost opozdit časování vstřiku pro palivo HVO30 oproti původnímu nastavení pro palivo VTP_MN

² Nutnost opozdit časování vstřiku pro palivo HVO100 oproti nastavení pro palivo HVO30

Popis zkratk: IMEP – střední indikovaný tlak integrovaný přes celý cyklus (720°), Pairset – žádaná hodnota tlaku vzduchu v sacím potrubí motoru, EGP set – řídicí žádaná hodnota škrťací klapky ve výfuku (0–10 V)

po dobu 3 min s koncem měření v čase 9 min 0 s daného bodu. Indikace tlaku ve válci pro 200 po sobě jdoucích pracovních cyklů byla provedena v čase 9 min pracovního bodu.

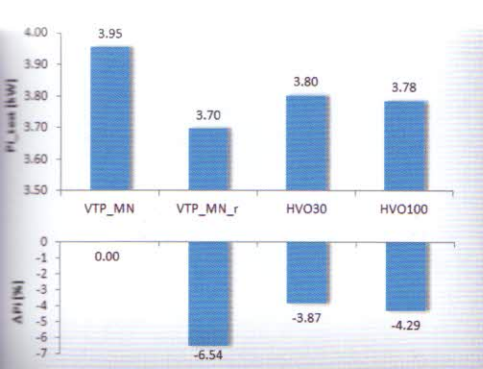
Vzhledem k tomu, že se jednalo o měření vlivu jednotlivých paliv, byla vypra-

cována metodika výměny paliva zajišťující minimální kontaminaci nového paliva předchozím. Nejdříve byl systém na více místech rozpojen a palivo se nechalo ze všech spojů a objemů vytéci, případně bylo vyčerpáno podávacím čerpadlem. Palivové filtry a palivové

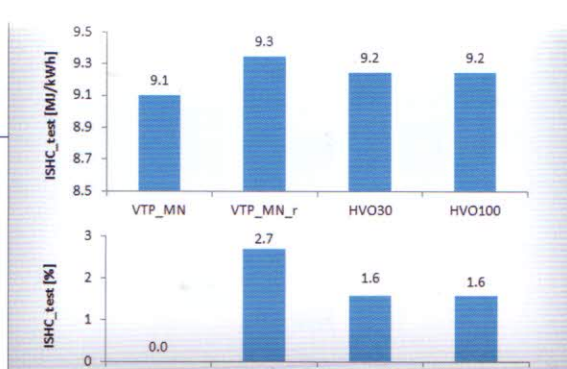
váhy se nechaly vykapat, v případě filtrů za pomoci přístupu vzduchu o mírně zvýšeném tlaku proti atmosférickému. Poté byl systém naplněn novým palivem následně propláchnut (asi 1 kg paliva). Následovalo naplnění vah novým palivem a spotřebování většiny náplně vah

Tab. 4 – Souhrnné výsledky testovaných vzorků paliv v emisním cyklu WHSC

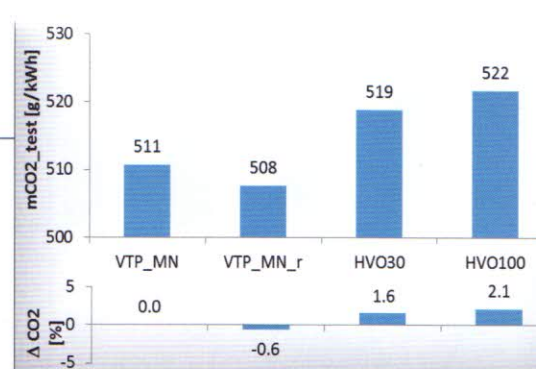
Označení paliva	Motorová nafta	Motorová nafta opakování	Motorová nafta + HVO 30 %	HVO 100 %
Obsah HVO v kapalném palivu (%)	0	0	30	100
Teplota nasávaného vzduchu (°C)	22,7-23,4	22,4-23,9	22,4-23,4	22,5-23,9
Vlhkost nasávaného vzduchu (%)	18,8-19,8	21,8-22,9	23,8-25,8	26,5-28,6
Číslo filtru pro PM	1	6	2	4
Měrná emise oxidu uhelného (mCO ₂ _test)(g/kWh)	21,0	24,5	19,5	15,0
Měrná emise oxidu uhličitého (mCO ₂ _test)(g/kWh)	511	508	519	522
Měrná emise oxidů dusíku (mNO _x _test)(g/kWh)	5,04	4,54	5,67	5,91
Měrná emise všech nespálených uhlíků (mTHC_test)(g/kWh)	14,83	18,15	15,34	16,39
Měrná produkce metanových uhlovlků (mCH ₄ _test)(g/kWh)	11,71	13,06	13,21	14,91
Měrná produkce nemetanových uhlovlků (nonCH ₄ _test)(g/kWh)	3,12	5,1	2,13	1,48
Měrná spotřeba tepla vztažená k indikovanému výkonu (ISHC_test)(MJ/kWh)	9,1	9,35	9,25	9,25
Měrný počet emitovaných pevných částic (PN_test)(#/kWh)	2.1013	2,8.1013	6,9.1012	6,2.1012
Měrná hmotová emise pevných částic (PM_test)(g/kWh)	0,223	0,473	0,084	0,025
Střední opacita spalin v cyklu WHSC (Opacity_test_avg)(HSU)	0,56	0,41	0,71	0,86
Kouřivost (Smoke_test_avg)(FSN)	0,01256	0,01359	0,0202	0,01221
Průměrná hlučnost motoru (Comb_Noise_test_avg)(dB)	84	82	87	91
Rychlost nárůstu tlaku ve válci (vyjadřuje tvrdost chodu) (Rmax_test_avg)(kPa/deg)	380	300	520	670
Indikovaný výkon (Pi_test)(kW)	3,954	3,695	3,801	3,784
Vážená hodnota hodinové spotřeby kapalného paliva (mDiesel_test_avg)(g/h)	432,639	401,401	413,166	407,513
Vážená hodinová spotřeba zemního plynu mCNG_test_avg (g/h)	353,074	351,102	353,019	354,731
Vážený poměr spotřeby zemního plynu k celkové spotřebě obou paliv (CNG+kapalné palivo) (cesigCNG_test_avg)(kg/kg)	0,449	0,467	0,461	0,465
Úhel natočení klikového hřídele odpovídající uvolnění mezi okamžiky, kdy je uvolněno x a y % energie obsažené v palivu CA _{x-y} _avg				
CA05-50_avg (°CA)	6,11	7,374	4,514	3,438
CA05-90_avg (°CA)	16,062	17,222	15,04	12,628
CA50-90_avg (°CA)	9,952	9,848	10,526	9,19



Obr. 5 – Střední indikovaný výkon motoru v cyklu WHSC – porovnání testovaných paliv



Obr. 6 – Střední měrná indikovaná spotřeba tepla v cyklu WHSC – porovnání testovaných paliv



Obr. 7 – Měrná střední emise oxidu uhličitého v cyklu WHSC – porovnání testovaných paliv

motorem jako poslední bod výměny paliva a zároveň jako procedura zajišťující určitou stabilizaci úsad ve výfukovém systému motoru. Následně započal samotný test, jak je popsáno výše.

Výsledky měření

Tabulka 4 obsahuje souhrnné výsledky testovaných vzorků paliv v cyklu WHSC, a to v absolutním vyjádření. Každá uvedená veličina je vyhodnocena jako vážený průměr za testovací cyklus. Měrné emise v testu byly vyhodnoceny následovně: Pro plynné složky emisí byl pro každý měřený bod v cyklu vyhodnocen hmotnostní průtok složky. Pro další výpočty bylo pro všechny složky použito hodnoty emisí v mokrych spalínách nezávisle na způsobu ošetření vzorků z hlediska vodního obsahu. Výsledný hmotový tok

složky pro celý cyklus byl stanoven jako součet součinů dílčích hmotových toků a váhových faktorů. Výsledný měrný hmotový tok složky byl stanoven jako podíl absolutního hmotového průtoku složky a středního indikovaného výkonu motoru. Střední indikovaný výkon za test byl vážený stejným algoritmem se stejnými váhovými faktory jako emisní složky.

Výsledky měření energetických parametrů

Obrázek 2 ukazuje váženou hodinovou spotřebu kapalného paliva za test měřenou palivovými váhami. Pokles dávky paliva v průběhu testu o 7,2 % potvrzuje trend změřený při testování vstřikovače na testovací stolici. Je třeba upozornit, že měřené hodnoty průtoku paliva byly nízké a odpovídaly dolnímu měřicímu

rozsahu palivových vah. Obr. 3 ukazuje váženou hodinovou spotřebu zemního plynu za test. Odchyly ve spotřebě zemního plynu pro jednotlivá paliva jsou minimální.

Obrázek 4 vyjadřuje úroveň náhrady kapalného paliva zemním plynem vyjádřenou hmotnostním zlomkem zemního plynu vztaženým k celkové spotřebovanému palivu. Změny jsou dány především v čase se snižující spotřebou kapalného paliva. Porovnání středního indikovaného výkonu motoru v testu uvádí v grafické podobě obrázek 5. Po dobu měření pro referenční palivo Pi poklesl o 6,54 %. Lze předpokládat, že tento pokles je primárně dán nižší dávkou zapalovacího kapalného paliva způsobenou zanášením vstřikovače v průběhu testu. Snižování zapalovací dávky a tím i zapalovací energie má vliv na celý další

průběh hoření. Proto může být celkové snížení Pi vyšší, než odpovídá snížení množství energie dodané v palivu.

Pokles indikovaného výkonu Pi pro palivo HVO30 a HVO100 lze považovat, s přihlédnutím k postupnému zanášení vstřikovače, za těžko prokazatelný. Dále je Pi ovlivněno nutností v některých pracovních bodech motoru zpoždovat vstřik vůči nastavení pro referenční palivo, k čemuž je také třeba přihlížet.

Porovnání měrné indikované spotřeby tepla pro různá paliva je uvedeno na obr. 6. Zhoršení u tohoto parametru o 2,7 % pro měření MN_r je ovlivněno důsledky výše zmíněného zanášení vstřikovače. Z grafu je patrné, že použití paliv HVO30 a HVO100 nemělo za daných podmínek prokazatelný vliv na měrnou indikovanou spotřebu tepla.

Jste srdečně zváni
k návštěvě expozice Agroecopower!!!!

TECHAGRO 2018
Pavilon V, číslo stánku 014.

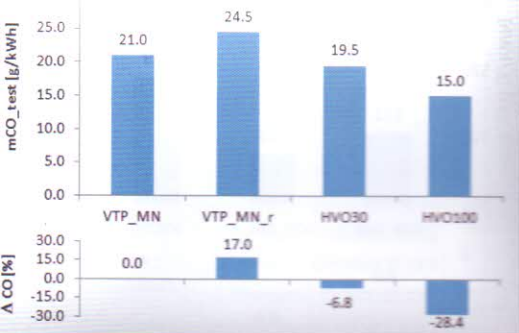


Denní menu – podáváme od 8. 4. do 12. 4. 2018
snídaně – pivo Bernard 1l° – 0,- Kč
oběd – pivo Bernard 1l° – 0,- Kč
večeře – pivo Bernard 1l° – 0,- Kč

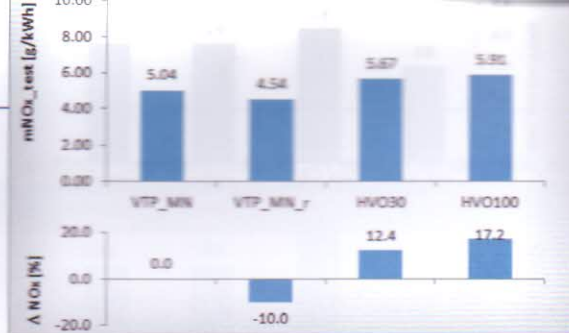
Dezert:
Novinky, trička, akční nabídka.

www.agroecopower.cz

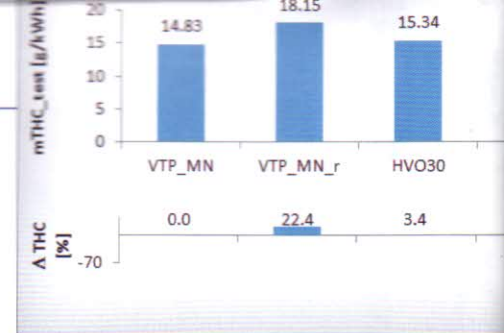
www.atx-dyno.cz



Obr. 8 – Měrná střední emise oxidu uhelnatého v cyklu WHSC – porovnání testovaných paliv



Obr. 9 – Měrná střední emise oxidů dusíku v cyklu WHSC – porovnání testovaných paliv



Obr. 10 – Měrná střední emise všech nespálených uhlovodíků (v C1) v cyklu WHSC – porovnání testovaných paliv

Výsledky měření vybraných emisních parametrů

Měrná emise oxidu uhličitého je zobrazena na obrázku 7. Dosažená opakovatelnost činí 0,6 %. Zdá se tedy, že úbytek dávky kapalného paliva daný zanesením vstřikovače je přibližně kompenzován úbytkem indikovaného výkonu P_i . Nárůst produkce měrné emise CO₂ je mírný, až těžko prokazatelný. Ovlivněn je zanesením vstřikovače a nutností ve vybraných režimech zpožďovat vstřik kapalného paliva a tím i snížením P_i , k němuž se produkce emise vztahuje.

Emise oxidu uhelnatého prezentuje obrázek 8. Je zde vidět výrazný nárůst v hodnotě 17 % pro opakované měření VTP_MN_r. Je pravděpodobné, že tento jev je současně následkem zanesení vstřikovače a zvýšené citlivosti duálního motoru s nízkým kompresním poměrem na dávku zapalovacího paliva. Zvyšování koncentrace HVO v kapalném palivu má jednoznačně pozitivní vliv na snížení měrné produkce CO. Dosažené snížení o 6,8 % pro HVO30 a o 28,4 % pro HVO100 je přitom negativně ovlivněno jevy diskutovanými v předchozím odstavci. Emise oxidů dusíku v testu jsou zobrazeny na obrázku 9. Rozdíl v koncentraci této škodliviny v průběhu měření činí -10 %. I vzhledem k poklesu produkce NO_x během měření lze konstatovat, že paliva HVO30 a HVO100 přinesla prokazatelné zvýšení produkce diskutované emise. Tento jev je v korelaci se zjištěným kratším úhlem hoření mezi CA5 a CA90.

Měrná produkce uhlovodíků je rozdělena na celkovou produkci uhlovodíků THC (obrázek 10), produkci metanových uhlovodíků CH₄ (obrázek 11) a pro názornost i produkci nemetanových uhlovodíků nonCH₄ (obrázek 12) jako rozdílu dvou dříve jmenovaných. Emisní analyzátor byl kalibrován metanem a emise uhlovodíků jsou uváděny v C1.

Vzhledem k nárůstu celkové měrné produkce všech uhlovodíků při opakovaném měření o 22,4 % nelze z grafu (obrázek 10) jednoznačně interpretovat nárůst produkce THC o 3,4 % pro HVO30, resp. o 10,5 % pro HVO100. Nelze totiž jednoznačně oddělit vliv změn na vstřikovači kapalného paliva, vliv použitého kapalného paliva a vliv nutné úpravy časování vstřiku kapalného paliva. Proto jsou dále diskutovány odděleně produkce metanových a nemetanových uhlovodíků. Obrázek 11 ukazuje nárůst měrné produkce metanových uhlovodíků při opakovaném měření referenčního paliva o 11,5 %, což reflektuje výše diskutované problémy se vstřikovačem kapalného paliva a tím nižší zapalovací energií. Nárůst produkce o 12,8 % pro HVO30 a o 27,8 % pro HVO100 je prokazatelný. Hlavním původcem však pravděpodobně bude pozdější vstřik zapalovacího paliva a s tím spojené prodloužení spalování dále do expanze. Lze také předpokládat, že emise metanu reflektuje hlavně následky ze spalování předem vytvořené směsi metanu a vzduchu. Výrazný nárůst měrné emise nemetanových uhlovodíků je velmi ovlivněn znač-

ným zvýšením této emise v pracovních bodech s nízkým zatížením, kde je motor provozován i na režim čistě vznětového motoru. V těchto režimech je motor v dané konfiguraci velmi citlivý na velikost pilotní, resp. zapalovací dávky paliva a optimalizaci jejího časování a tím i na již zmiňované zanesení příslušného vstřikovače. To pak může přinést enormní nárůst produkce nemetanových uhlovodíků prezentované na obrázku 12.

Navzdory v předchozím odstavci popisovanému chování motoru je trend výrazného snížení diskutované emise velmi výrazný, a to jak pro HVO30 tak pro HVO100. Z výše diskutovaného lze tedy odhadovat, že tato alternativní paliva snižují emise uhlovodíků pocházející z fáze spalování kapalného paliva, zatímco na dohořívání přibližně homogenní směsi zemního plynu a vzduchu již nemají tak výrazný vliv. Ostatní hodnoty emisních parametrů uvádí souhrnná tabulka 4.

Diskuse

Měření bylo značně ovlivněno problémy s postupným zanesením vstřikovače a také použitou konfigurací motoru s kompresním poměrem o hodnotě 14 : 1. Dalším vlivem bylo zpoždování časování vstřiku kapalného paliva při použití alternativních paliv místo referenčního. I přesto však jsou patrné některé jednoznačné trendy při použití posuzovaných paliv HVO30 a HVO100. Byly vyhodnoceny souhrnné energetické a emisní parametry

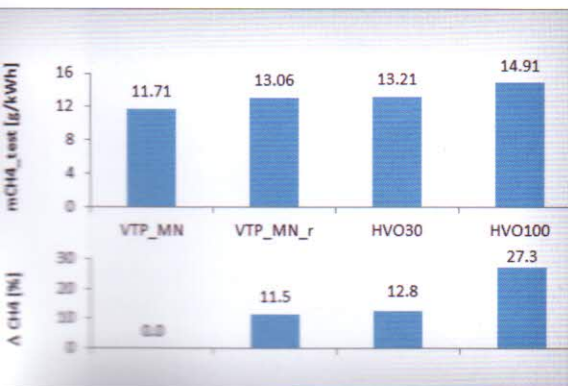
jako měrné vážené hodnoty vztahované na indikovaný výkon, obojí průměrované za test. Oproti zadání byly také vyhodnoceny vybrané veličiny charakterizující průběh a vlastnosti spalování.

Jednoznačně pozitivní vliv paliv HVO30 a HVO100 lze pozorovat ve výrazném snížení legislativně zakotvených emisí částic reprezentovaných hmotovým měřením (PM) a počtem částic (PN). Tato paliva také snižují měrnou produkci CO a nemetanových uhlovodíků nonCH₄. Mírně negativní dopad pak lze pozorovat u emitovaných oxidů dusíku NO_x. Z hlediska průběhu spalování je vhodné zmínit rychlejší úvod spalování (CA05-CA50) a zvýšení rychlosti nárůstu spalovacího tlaku. Vliv na měrnou indikovanou spotřebu tepla ISHC se zdá být nepatrný a vliv na indikovaný výkon je za daných podmínek nejednoznačný. Ze zkušeností z přípravy testu je nutné konstatovat, že testovaný motor vykazoval výraznou citlivost na přesnost odměření pilotní dávky kapalného paliva a jejího časování, a to jak z hlediska průběhu spalování, tak z hlediska produkce emitovaných emisí. Zdá se, že testovaná paliva umožňují lepší optimalizaci nastavení především pro režimy s malým zatížením. Z uvedených poznatků vyplývá, že obdobné problémy, zejména se zanesením vstřikovacích trysek a jejich možným přehříváním, se mohou vyskytovat i u plnorozměrného motoru, který bude provozován ve výrazně nepříznivějších podmínkách. Vzhledem k tomu, že nebudou prováděny žádné konstrukční zásahy do spalovacího prostoru motoru, bude rozhodující správné nastavení řídicích jednotek motoru, aby se minimalizovala možnost poškození motoru.

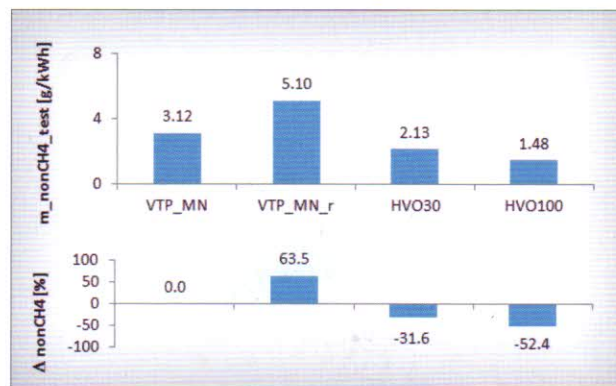
Ing. Radek Pražan, Ph.D., Ing. Petr Jevič, CSc.,
Ing. Zdeňka Šedivá
VÚZT Praha

Poděkování. Článek vznikl za podpory grantového projektu QJ1510385.

Lektoroval Ing. Václav Podpěra, CSc.



Obr. 11 – Měrná střední emise metanu (v C1) v cyklu WHSC – porovnání testovaných paliv



Obr. 12 – Měrná střední emise nemetanových uhlovodíků (v C1) v cyklu WHSC – porovnání testovaných paliv