

# Měření výkonových parametrů a emisí kapalných paliv s vysokým podílem biosložky

Článek se zabývá ověřením tří směsí paliv s různým podílem biosložky u modelového jednoválcového motoru bez přídavných zařízení pro úpravu spalin. Na tomto spalovacím dieselovém motoru se měřily výkonové charakteristiky a jednotlivé složky emisí za účelem posouzení těchto směsí kapalných biopaliv v praktickém použití a to tak, aby splňovaly současnou a připravovanou evropskou legislativu do roku 2020. U všech zkušebních směsí paliva se prováděl detailní chemický rozbor a prověřovaly se vlastnosti.

Evropská legislativa ukládá povinnost snížení skleníkových plynů v dopravě v roce 2020 o 6 %. Vedle toho musí každý členský stát zajistit, aby podíl energie z obnovitelných zdrojů ve všech druzích dopravy v roce 2020 činil alespoň 10 % konečné spotřeby energie v uveřejněném členském státě. Související směrnice Evropského parlamentu a Rady (EV) 2015/1513 ze dne 9. září 2015, kterou se mění směrnice 98/70/ES o jakosti benzínu a motorové nafty a směrnice 2001/92/EC o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů omezují použití biopaliv vyráběných z obilovin a jiných plodin bohatých na škrob, cukernatých plodin a olejnin a z plodin pěstovaných na zemědělské půdě jako hlavní plodina především k energetickým účelům na 7 % energetického obsahu paliv použitých v dopravě.

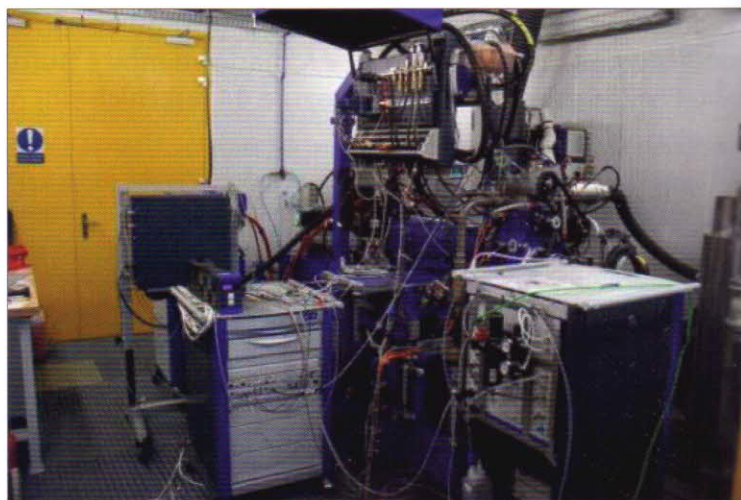
Směrnice tak počítá s využitím konvenčních biopaliv, pro pokročilá biopaliva stanovuje indikativní cíl minimálně 0,5 %. Za surovinovou základnu biomasy jsou specifikovány lignocelulózní materiály, nepotravinové celulózní materiály, zpracovatelské zbytky a zbytky ze zemědělství, vodohospodářství, rybolovu a lesnictví. Tato směrnice také definuje obnovitelná kapalná a plyná paliva nebiologického původu, používaná v dopravě. Jejich energetický obsah pochází z obnovitelných zdrojů jiných než biomasa.

Pro vznětové motory se jako palivo používá motorová nafta podle EN 590 (2013) omezující obsah metylesterů mastných kyselin (FAME) na 7 % (V/V). Jako další paliva se používají dieselová paliva s vysokým podílem FAME (B20 a B30) podle EN 16709 (2015), dieselové palivové směsi obsahující FAME B30 podle ČSN 65 6508 (2013) a EN 16709 (2015).

Pro splnění požadovaného snížení emisí skleníkových plynů je jednou z možných alternativ použití parafinického dieselového paliva ze syntézy nebo hydrogenace (syntetizované uhlovodíky), mezi které patří hydrogenovaný rostlinný olej (HVO), hydrozpracované estery a mastné kyseliny (HEFAs) a zkapalněná biomasa (BtL).

Je možné je použít samostatně nebo přidat do motorové nafty v takovém množství, aby konečná směs byla v souladu s požadavky EN 590. Protože nejsou v ČR žádné výrobní kapacity, jednalo by se v počátečním období o využití dovážené suroviny. O možných kapacitách se v ČR uvažuje, pravděpodobně v roce 2016 bude v ČR proveden provozní pokus výroby motorové nafty s obsahem HVO v rámci České rafinérské a. s.

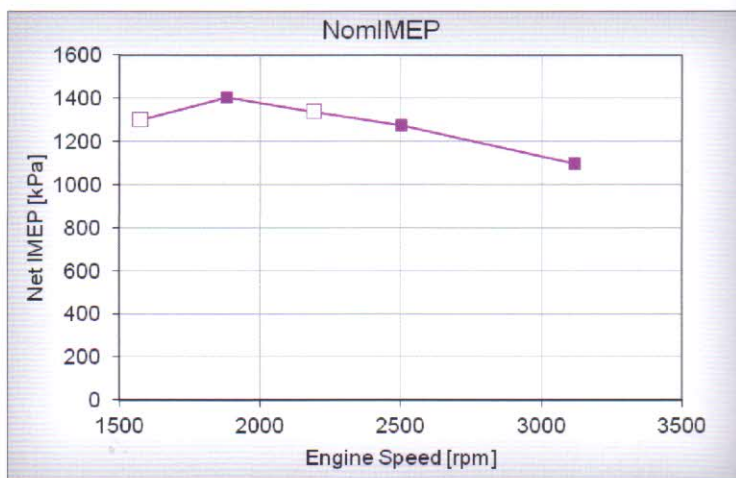
Problematika výroby a využití HVO/HEFAs je na mezinárodní úrovni široce diskutována. Komerčně hydrogenační proces pro zpracování rostlinných olejů provozuje firma Neste Oil a její výrobky jsou označeny NExBTL. Surovinovou základnu pro výrobu hydrogenovaného rostlinného oleje je palmový olej, upotřebené rostlinné oleje, odpadní živočišné tuky. Nově se ověřuje možnost použití oleje z řas, ve stadiu výzkumu je využití mikrobiálního oleje. Jakostní požadavky na tento typ paliv pro vznětové motory na bázi parafinů z hlediska jejich potřeb jsou zaneseny v technické specifikaci ČSN EN 15940 (2016). Toto palivo je z více než 98 % tvořeno parafíny, obsah aromátů činí max. 1 %,



Obr. 1 – Pohled na zkušební stanoviště s jednoválcovým experimentálním motorem AVL 5402.088

polyaromáty a olefiny max. 0,1 %. Eliminace kyslíku z triacylglyceridů (TAG) pomocí katalyzátoru v atmosféře vodíku při zvýšených teplotách umožňuje vyrábět směs syntetických alkanů. Na rozdíl od procesu transesterifikace TAG umožňuje zpracovávat suroviny s vysokým obsahem volných mastných kyselin (Mikulec et. al. 2010, Lapuerta et. al. 2011). HVO/HEFAs se vyznačují nižší hustotou a viskozitou v porovnání s fosilní naftou a bionaftou. Produkty mají ultra nízký obsah síry, vysoké cetanové číslo a vysokou výhřevnost, což je vhodné pro spalovací motory (Mikkonen et. al. 2012). Vzhledem k výše prezentovaným kvalitativním ukazatelům je při používání HVO/HEFAs a jejich směsí s motorovou naftou a FAME dosaženo významné úspory emisí skleníkových plynů (Aatola et. al. 2009). Výsledky HVO/HEFAs pro vyhodnocení různých jízdních konceptů a paliv pro zemědělské traktory popisují Ettl et. al. 2014.

Na základě předchozích zkušeností a zejména s přihlédnutím k publikovaným studiím vlivu HVO a jeho směsí na výkonové parametry motorů a výsledky měření sledovaných emisí výfukových plynů byla pro zkoušky a měření v laboratorním jednoválcovém motoru použita standardní motorová nafta splňující EN 590 jako etalon a základní palivo, dále směs 30% biopaliva HVO se standardní motorovou naftou splňující EN ISO 590 a 100 % biopalivo HVO.



Obr. 2 – Vnější otáčková charakteristika experimentálního vznětového jednoválcového motoru AVL typ 5402.088 [Net IMEP – střední indikovaný tlak integrovaný přes celý cyklus (7200)]

**Tab. 1 – Parametry experimentálního vznětového jednoválce AVL Typ 5402.088, dynamometru a příslušenství**

Vrtání/zdvih, kompresní poměr	85 x 90 mm, 16:1 (maximální spalovací tlak 15 MPa)
Maximální otáčky motoru	4200 ot/min
Maximální otáčky dynamometru	8000 ot/min
Jmenovitý moment/výkon dynamometru	180 Nm (0–3000 ot/min) / 58 kW (3000–8000 ot/min)
Vstřikování paliva	Bosch Common Rail (maximální vstřikovací tlak 180 MPa)
Řídicí jednotka vstřikování	Otevřená řídicí jednotka AVL RPEMS + kalibrační SW/HW ETAS INCA v 7.0
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–přepřehovací jednotka, příprava nasávaného vzduchu
– teplota nasávaného vzduchu	nastavitelná v rozsahu 30–120 °C
– tlak nasávaného vzduchu	nastavitelný v rozsahu 100–400 kPa absolutně

**Tab. 2 – Použité měřicí zařízení experimentálního vznětového jednoválce AVL typ 5402.088**

Popis	Označení
Palivové váhy	AVL 733
Indikace rychle proměnlivých tlaků	AVL INDIMODUL/INDICOM
Zesilovač náboje	AVL micro IFEM
Tlakový snímač ve válci	AVL GU22C
Emisní vybavení	
Analyzátor plyných složek v surových nezředěných spalinách	AVL AMA i60
Kouřivost	AVL 415SE
Opacita	AVL 439
Gravimetrické měření částic	AVL 472 Smart Sampler
Čítání počtu částic	AVL PC 489
Váha	Sartorius CP2P-F

**Tab. 3 – Definice provozních bodů cyklu WHSC u experimentálního vznětového jednoválce AVL typ 5402.088,**

Provozní bod	Otáčky motoru [ot/min]	Tlak vzduchu v sání [kPa]	Žádaná hodnota tlaku vzduchu v sání [kPa]	Žádaná hodnota škrt. klapky ve výfuku [V]*	Poloha plyn. pedálu [%]	Váhový faktor [1]	čas módu/vzorkování.AVL 472 [s]
1	800	142	0	8	9.6	0.112	275/58.1
2	2499	1273	100	8.8	100	0.026	275/72.6
3	2499	318	25	8.8	25	0.132	275/272.1
4	2499	891	70	8.8	70	0.039	275/100.2
5	1881	1403	100	9	100	0.026	275/54.6
6	1572	373	10	8.8	24	0.105	275/119.3
7	2190	937	70	8.8	70	0.039	275/87.8
8	2190	335	25	8.8	25	0.079	275/139.1
9	2499	637	50	8.8	50	0.066	275/156.5
10	3117	1097	100	8.6	100	0.026	275/90.5
11	1881	708	50	8.8	46.4	0.105	275/194.6
12	1881	355	20	8.8	25	0.132	275/196.6
13	800	142	0	8	9.6	0.112	275/58.1

Pozn.: \* 2 – 10 V

## Materiál a metody

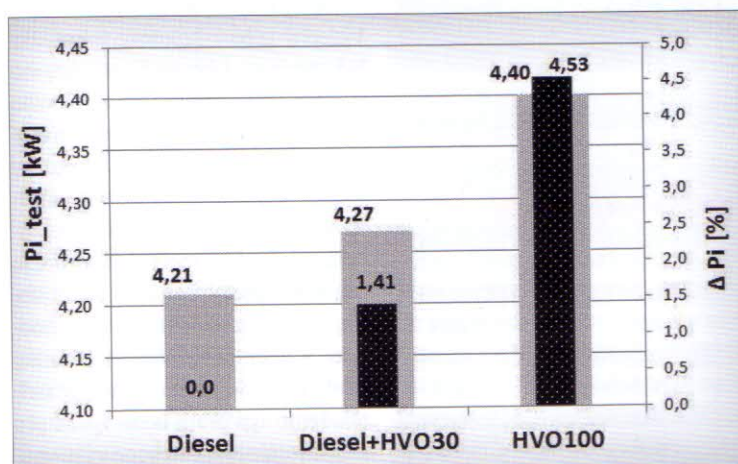
Pro testování vlivu paliv byl zvolen experimentální vznětový jednoválec „AVL typ 5402.088 instalovaný v sestavě AVL Compact Single Cylinder Test Bed.“ Tento motor nebyl vybaven žádným zařízením pro úpravu výfukových plynů (tedy bez oxidačního katalyzátoru, filtru pevných částic, ani zpětným vedením výfukových plynů do spalovacího prostoru – EGR) (obr. 1). Pro zlepšení opakovatelnosti měření bylo v sestavě použito externí zařízení AVL 577 sloužící k udržování konstantního tlaku a teploty oleje a chladicí kapaliny.

Motor má suchou klikovou skříň a nemá vlastní čerpadlo na olej a chladicí médium. Vzduch nasávaný do motoru připravuje zařízení AVL 515. Tímto zařízením jsou udržovány jako konstantní veličiny plnicí tlak a teplota nasávaného vzduchu. Jako zdroj tlaku slouží externí kompresor. Výfuk je vybaven ukladňovací nádobou o objemu 60 l, za níž je umístěna proporcionálně a elektronicky řízená

škrticí klapka kontrolující protitlak ve výfuku. Tato soustava umožňuje do značné míry nezávislé nastavení plnicího a výfukového tlaku.

Odběr pro všechny vzorky sledovaných emisí byl realizován z výfukového potrubí motoru. Základní parametry experimentálního vznětového jednoválce, dynamometru a příslušenství jsou uvedeny v tabulce 1.

Pro měření bylo vybráno dvanáct kombinací otáček a zatížení motoru, které byly zvoleny tak, aby pokryly nejčastěji využívané provozní body motoru. Základem pro výběr těchto bodů byl třináctibodový cyklus WHSC (světový harmonizovaný cyklus) složený z ustálených provozních režimů pokrývajících celý pracovní rozsah otáček a zatížení motoru. První a poslední bod je volno-

**Obr. 3. – Porovnání středního indikovaného výkonu  $P_i$  a relativního indikovaného výkonu  $\Delta P_i$** 

běh, který je tak během testu měřen dvakrát. Body pro cyklus byly vybrány na základě naměřené vnější rychlostní charakteristiky výzkumného jednoválce, a to v rámci možností mechanických částí a řídicí jednotky motoru. Jelikož se jedná o motor s netradičním pohonem přídavných agregátů a tedy i pasivních odporů, byla pro interpretaci zatížení použita hodnota středního indikovaného tlaku ve válci. Všechny prezentované energetické a emisní parametry motoru AVL typ 5402.088 jsou tedy vztaženy k indikovanému výkonu. Konstrukce vnější otáčkové charakteristiky výzkumného jednoválce je uvedena na obr. 2.

Cyklus byl modifikován tak, aby bylo dosaženo potřebného ustálení měřených veličin v každém bodě. Pro gravimetrické stanovení hmotnosti emitovaných částic byla každému bodu přidělena váha, s jeho využitím je vypočítávána celková hodnota za cyklus jako vážený průměr hodnot naměřených v jednotlivých bodech. Výpočet byl prováděn pomocí softwaru příslušného zařízení. Tento výpočet zahrnuje korekce na skutečně dosažené hodnoty ředění a časů sání skrze filtr. Jednotlivé body a jejich váhy jsou uvedeny v tabulce 3.

## Výsledky měření

Naměřené hodnoty laboratorních zkoušek zkoušených paliv jsou uvedeny v tabulce 4.

Souhrnné výsledky testovaných vzorků paliv v cyklu WHSC obsahuje tabulka 5, a to jak v absolutním vyjádření, tak v relativním vzhledem k referenčnímu palivu – motorové naftě. Každá uvedená veličina je vyhodnocena jako vážený průměr za testovací cyklus. Měrné



Tab. 4 – Výsledky rozborů paliv použitých pro zkoušky na motorech

Výsledek rozboru – dosažené hodnoty		ČSN EN 590:2014	Vzorek paliva (označení)			
			NM	NM+HVO30	HVO100	
			1 611	1 612	1 610	
			81 400	81 401	81 157	
Destilační zkouška NM						
Začátek destilace		(°C)	177,2	183,7	187,9	
Předestilováno do	250 °C	(% V/V)	< 65	40,1	30,6	2,8
	350 °C	(% V/V)	min. 85	96,9	*	*
	360 °C	(% V/V)		*	*	*
	95 % (V/V)	(°C)	360	343,7	326,6	291,0
Celkový předestilovaný objem		(% V/V)	98,3	99,9	98,1	
Konec destilace		(°C)	350,2	344,9	298,1	
Bod vzplanutí v uzavřeném kelímku PM		(°C)	> 55	67,5	68,0	69
Teplota filtrovatelnosti (CFPP)		(°C)		-24	-27	-39
Teplota vylučování parafinů		(°C)		-7	-11	-34
Polyaromatické uhlovodíky		(% m/m)	< 11	5,0	3,6	< 0,1
Metylestery mastných kyselin (V)		(% V/V)	< 7,0	6,3	6,1	< 0,3
Voda podle Karla Fischera (m)		(mg/kg)	< 200	50	40	30
Obsah síry		(mg/kg)	< 10	8,5	6,1	< 3,0
Popel		(% m/m)	< 0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Celkové nečistoty paliv filtrací		(mg/kg)		< 6,0	< 6,0	< 6,0
CCT 10% zbytku		(% m/m)	< 0,3	0,03	0,01	0,01
Korozivní působení na měď		(stupeň)	třída 1	třída 1	třída 1	třída 1
Mazivost HFRR		(µm)	< 460	178	195	423
Kinematická viskozita při 40 °C		(mm <sup>2</sup> /s)	2,0–4,5	2,621	2,650	2,855
Oxidační stabilita NM						
Celkové nerozpustné úsady		(g/m <sup>3</sup> )		1,0	1,0	1,0
Oxidační stabilita Rancimat (110 °C)		(h)	20	21,1	20,1	57,2
Oxidační stabilita PetroOxy		(min)	Inf.*	96,3	96,5	67,8
Cetanové číslo na motoru			> 51,0	51,1	55,1	74,9
Cetanový index			> 46,0	49,6	59,6	91,6
Hustota při 15 °C		(kg/m <sup>3</sup> )	820–845	840,1	822,1	779,6
Výhřevnost		(MJ/kg)	–	43,7	43,4	44,1

\*metoda je pouze informativní pro porovnání

Tab. 5 – Souhrnné výsledky testovaných vzorků paliv v emisním cyklu WHSC u experimentálního vznětového jednoválce AVL typ 5402.088

Označení paliva	Motorová nafta	Směsné palivo Motorová nafta 70 % + HVO30 %	HVO100
Obsah HVO [%]	0	30	100
Teplota vzduchu [°C]	20,9–22,5	18,3–22,9	23,3–23,9
Vlhkost vzduchu [%]	20,7–23,6	28,6–37,6	25,2–26,4
Číslo filtru pro PM	2	3	4
mCO <sub>test</sub> [mg/kWh]	4400	3273	1679
mCO <sub>2test</sub> [g/kWh]	580	569	559
mNO <sub>xtest</sub> [mg/kWh]	7036	6780	6738
mHC <sub>test</sub> [mg/kWh]	275	188	98
nsfc <sub>test</sub> [g/kWh]	185,74	181,64	177,36
PN <sub>test</sub> [#kWh]	1,60E+13	1,50E+13	1,20E+13
Test opacity prům. [HSU]	6,30E–01	5,70E–01	4,60E–01
Test kouřivosti prům. [FSN]	7,30E–02	6,70E–02	5,40E–02
PM [mg/kWh]	0,106	0,052	0,021
Pi <sub>test</sub> [kW]	4,214	4,273	4,405
Relativní vyjádření vzhledem k referenčnímu palivu (motorové naftě)			
mCO <sub>test</sub> [%]	0	-25,6	-61,8
mCO <sub>2test</sub> [g/kWh]	0	-1,8	-3,6
mNO <sub>xtest</sub> [%]	0	-3,6	-4,2
mHC <sub>test</sub> [%]	0	-31,5	-64,3
nsfc <sub>test</sub> [%]	0	-2,2	-4,5
PN [%]	0	-10,5	-24,5
Test opacity prům. [HSU]	0	-9,3	-26,9
Test kouřivosti prům. [FSN]	0	-7,6	-25,6
PM [%]	0	-50,9	-80,2
Δ Pi <sub>test</sub> [%]	0	1,4	4,5

emise v testu byly vyhodnoceny následovně: pro plynné složky emisí byl pro každý měřený bod v cyklu vyhodnocen hmotnostní průtok složky. Pro další výpočty byla pro všechny složky použita hodnoty emisí v mokřích 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 vážen stejným algoritmem se stejnými váhovými faktory jako emisní složky. Porovnání veličin měřených v testu je uváděno v podobě grafu. V horní části grafu jsou uvedeny absolutní hodnoty, v dolní části relativní přírůstky k referenčnímu palivu (motorové naftě). Tento typ grafu bude využit pro všechny dále prezentované veličiny. Porovnání středního indikovaného výkonu motoru v testu je uvedeno

v grafické podobě (obr. 3). Po dobu měření narostl Pi o 1,38 %.

Z grafického znázornění výsledků posuzovaných paliv je dobře patrný růst indikovaného výkonu Pi se zvyšující se koncentrací HVO v palivu. Trend lze považovat za prokázaný díky jednoznačnosti jeho průběhu a dosaženému nejvyššímu rozdílu 4,53 % (měřené palivo HVO 100), tedy vyššímu, než je dosažená chyba opakovatelnosti měření. Porovnání měrné indikované spotřeby paliva pro různá paliva je uvedeno na obrázku 4a. Z grafů je patrný příznivý vliv zvyšující se koncentrace HVO na snížení měrné spotřeby paliva. Vliv na tento výsledek má vyšší dosažený indikovaný výkon pro vyšší koncentrace HVO a také nižší hustota HVO vůči naftě.

Vliv zvyšující se koncentrace HVO v palivu je jednoznačný a jeho průběh plynulý a čitelný. Emisní norma Euro 6 v testu WHSC pro motory užitkových vozidel stanovuje pro tuto škodlivinu limit 1500 mg/kWh. Lze předpokládat, že na běžném moderním motoru by se systém dodatečné úpravy spalín s oxidačním katalyzátorem pro všechna měřená paliva s emisí CO úspěšně vypořádával. Emise oxidu uhelnatého jsou zobrazeny na obrázku 4b.

Měrná emise oxidu uhličitého je zobrazena na obrázku 4c. Malý pokles koncentrace CO<sub>2</sub> se zvyšující se koncentrací HVO je pravděpodobně způsoben odlišným podílem uhlíku v daném palivu. Emise oxidů dusíku v testu jsou zobrazeny na obrázku 4d. Naměřené hodnoty v případě zkoušených paliv ukazují na mírné snížení koncentrace NO<sub>x</sub> se zvyšující se koncentrací HVO. Vzhledem k méně hladkému průběhu této závislosti je třeba tento málo patrný přínos interpretovat velmi opatrně. Dosažené koncentrace jsou také velmi vzdálené limitům normy Euro 6 (400 mg/kWh). To je v souladu se současnou již všeobecně známou zkušeností, že je prakticky nemožné tuto normu splnit bez systému selektivní katalytické redukce SCR. Emise nespálených uhlovodíků (HC) v cyklu je zobrazena na obrázku 4e. Je patrný pozitivní vliv přítomnosti HVO v palivu na předmětné škodliviny. Na čisté HVO dokonce úroveň škodliviny dává naději na splnění limitu daného normou Euro 6 pro cyklus WHSC i bez dodatečné úpravy spalín (limit je 130 mg/kWh). Emise uhlovodíků (společně s CO) však nejsou



Obr. 4. – Výsledky WHSC testu: a) měrná spotřeba paliva, b) měrná produkce emisí mCO, c) měrná produkce emisí mCO<sub>2</sub>, d) měrná produkce emisí mNO<sub>x</sub>, e) měrná produkce mHC, f) měrný počet emitovaných pevných částic PN, g) měrná hmotová emise pevných částic, h) opacita, i) kouřivost

u vznětových motorů problematickou složkou výfukových plynů, neboť je lze poměrně úspěšně likvidovat v oxidačním katalyzátoru.

Z grafu na obrázku 4f je jasně patrný pozitivní vliv HVO na úroveň množství částic ve výfukových plynech (změřených čítačem částic AVL 489), přičemž trend má čitelný průběh. Předpis Euro 6 stanovuje hodnotu počtu 8.0x10<sup>11</sup> částic/kWh, což je hodnota o více než řád vyšší, než byla naměřena. To je v souladu se současnou potřebou vybavování vznětových motorů filtrem částic. Gravimetrické zjišťování hmotové produkce pevných částic je souhrnně prezentováno na obrázku 4g. Lze jed-

noznačně konstatovat signifikantní snížení produkce gravimetricky zjišťované emise částic, pro čisté HVO dokonce o 80,2 %. Další argumentace je v souladu s předchozím výše uvedeným komentářem k tvorbě částic. Měření viditelného kouře v podobě vyhodnocení opacity souhrnně popisuje obr. 4h. Vliv HVO v palivu je opět pozitivní, když způsobuje téměř proporcionální pokles kouřivosti se zvyšujícím se podílem v palivu. Průběhy kouřivosti znázorněné na obrázku 4i, měřené filtrační metodou, jsou velmi podobné výše uvedenému měření opacity a lze při jejich hodnocení použít obdobnou argumentaci.

## Diskuse

Na zkušebním jednoválcí na motorovém brzdovém stanovišti bylo provedeno měření celkem tří vzorků paliv v testu založeném na cyklu WHSC. Byly vyhodnoceny souhrnné energetické a emisní parametry jako měrné hodnoty vztahované na indikovaný výkon (obojí průměrované za test). U energetických a emisních parametrů lze vysledovat jasné trendy v závislosti na měřeném palivu. Celkově lze říci, že podíl HVO v palivu má mírně pozitivní vliv na indikovaný výkon Pi a měrnou spotřebu paliva nsfc. Na množství emitovaných oxidů dusíku NO<sub>x</sub> nemá výraznější vliv. Vy-

sloveně pozitivně se však projevuje na kouřivosti a množství emitovaných částic měřených podle všech metodik, které byly k dispozici. Totéž lze říci o emisích oxidu uhelnatého a uhlovodíků. Z hlediska sledovaných parametrů má tedy zvýšený podíl HVO v palivu pouze pozitivní vliv.

Ing. Radek Pražan, Ph.D.,  
Ing. Petr Jevič, CSc.,  
Ing. Zdeňka Šedivá,  
Výzkumný ústav zemědělské  
techniky, v. v. i., Praha

Lektoroval Ing. Otakar Syrový, CSc.

Poděkování. Článek vznikl za podpory grantového projektu QJ1510385.

## Použitá literatura:

- EN 590 Automotive fuels – Diesel – Requirements and test methods. September 2013.
- DRAFT prEN 15940 Automotive fuels – Paraffinic diesel fuel from synthesis or hydro treatment – Requirements and test methods. September 2014.
- EN 16709 Automotive fuels – High FAME diesel fuel (B20 and B30) – Requirements and test methods. October 2015.
- MIKULEC. J., CVENGROŠ. J., JORÍKOVÁ. L., BANIČ. M., KLEINOVÁ. A. 2010 Second generation diesel fuel from renewable sources. *Journal of Cleaner Production*. pp. 18(9). 917–926.
- LAPUERTA. M., VILLAJOSA. M., AGUDELOB. JR., BOEHMAN. AL. 2011. Key properties and blending strategies of hydrotreated vegetable oil as biofuel for diesel engines. *Fuel Processing Technology*. pp. 92(12). 2406–2411.
- MIKKONEN. S., HARTIKKA. T., KURONEN. M., SAIKKONEN. P. 2012. HVO, hydrotreated vegetable oil – a premium renewable biofuel for diesel engines. Neste Oil Proprietary publication.
- AATOLA. H., LARMI. M., SARJOVAARA. T., MIKKONEN. S. 2009. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO<sub>x</sub>, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine. *SAE Int. J. Engines* 1(1):1251-1262. doi:10.4271/2008-01-2500.
- ETTL. J., THUNEKE. K., REMMELE. E., EMBERGER. P., WIDMANN. B. 2014. Future biofuels and driving concepts for agricultural tractors. *European Biomass Conference and Exhibition*. pp.23-25. Hamburg, Germany.