

Vliv použití moderních kapalných biopaliv na výkonové parametry traktoru Zetor 9540

Článek se zabývá ověřením vlivu dvou směsí paliv s velkým podílem biosložky a dvou biopaliv (100% složení biosložky HVO a FAME) na výkonové parametry motoru a spotřebu paliva u traktoru Zetor 9540 v porovnání s čistou motorovou naftou. Na spalovacím dieslovém motoru Zetoru 9540 se měřily výkonové charakteristiky za účelem posouzení vlastností směsí kapalných biopaliv při jejich praktickém využití. U naměřených hodnot bylo sledováno, zda splňují současnou a připravovanou evropskou legislativu, tak aby do roku 2020 mohly být splněny všechny přijaté závazky. U všech zkušebních směsí paliv se prováděl detailní rozbor jejich chemických a fyzikálních vlastností.

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

Na traktor, jako energetický prostředek, je v zemědělství kladen vysoký nárok na využití výkonu motoru, provozní spolehlivost a v neposlední řadě i ekonomiku provozu. Snížení výkonu motoru by při práci v polních podmínkách mohlo znamenat snížení pracovní rychlosti a zhoršení kvality práce, popř. výrazné snížení výkonnosti linky, a tím zvýšení měrné spotřeby paliva. Dlouhodobé používání pokročilých kapalných biopaliv nesmí mít vliv na provozní spolehlivost a životnost motoru.

Rozšířenou biosložkou pro přimíchávání do motorové nafty je FAME (fatty acid methyl ester) a stále více používaný hydrogenovaný rostlinný olej (HVO). Bližší popis jednotlivých biopaliv byl uveden v Mechanizaci zemědělství 6/2017 „Ověření výkonových parametrů a produkce emisí na modelovém motoru tří směsí kapalných paliv s vysokým podílem biosložky“.

HVO v dnešní době tvoří základ prémiových paliv u vybraných benzínových stanic. Výhodou těchto paliv, jak deklarují petrolejářské firmy, je vyšší výkon motoru a čistící efekt spalovacího prostoru.

Požadavky na zvyšující se podíl biopaliv v motorové naftě s sebou nesou určitá rizika. Jen detailní znalostí a komplexním odzkoušením těchto paliv v různých typech a konstrukcích spalovacích motorů lze tato rizika minimalizovat.

Na základě předchozích zkušeností s HVO a jeho směsí na výkonové parametry motorů byla pro měření použita směs označovaná jako SMN R31 s podílem 25 % V/V HVO 6 % V/V FAME a 69 % V/V MN, dále směs označovaná jako



Mobilní dynamometr AW NEB 400 s měřeným traktorem Zetor 9540

SMN 30 HVO s 30% podílem biopaliva HVO ve standardní motorové naftě splňující EN ISO 590 a dvě 100% biopaliva HVO a FAME. Jako referenční palivo pak byla použita standardní motorová nafta (MN) splňující EN ISO 590. Porovnávací měření výkonu motoru při použití jednotlivých paliv se uskutečnila na traktoru Zetor 9540 bez jakýchkoliv technických zásahů do konstrukce a nastavení motoru.

Metodika měření

Pomocí mobilního hydraulického dynamometru AW NEB 400, připojeného na zadní vývodový hřídel (PTO) traktoru a palivoměru Macnaught MSeries FlowMeter M2ASP-1R byla na zkušebně změřena vnější otáčková charakteristika motoru traktoru Zetor 9540 pro posouzení jeho technického stavu. Za účelem měření byla nádrž traktoru odpojena a do palivového systému nainstalována externí nádrž s vlastní temperací. Každé palivo bylo před vlastním měřením temperováno v termoboxu po dobu 24 hod. na teplotu 15° C. Při měření byla v nádrži udržována konstantní teplota paliva 15° C, a to po celou dobu testu. Měření proběhlo nejprve s referenčním palivem, motorovou naftou a následně pak s výše uvedenými druhy biopaliv. Po každém měření byl palivový systém motoru vyprázdněn, následně byla nádrž doplněna o nový

druh paliva a motor odvdoušen. Před vlastním měřením vnější výkonové charakteristiky motoru bylo provedeno ještě jedno kompletní měření z důvodu dosažení pracovní teploty motoru shodné pro všechna ostatní měření.

Po každém měření byl zkontrolován průběh teplot paliva z teplotních snímačů v palivové větvi tak, aby byly zachovány stejné podmínky pro všechny sledované druhy paliv. Z naměřených hodnot točivého momentu, otáček motoru a spotřeby paliva byl následně vypočten výkon motoru a měrná spotřeba paliva v jednotlivých měřících bodech. Z těchto hodnot je pak graficky zobrazena vnější otáčková charakteristika motoru.

Tab. 1 – Elementární složení, výhřevnost, hustota zkoušených paliv a její přepočet na teplotu (t) při zkoušení paliv u traktoru Zetor 9540

	Hustota (kg/m ³)	Hustota paliva (kg/m ³)	Přepočet hustoty při určité teplotě z hustoty při 15 °C	Elementární složení	Výhřevnost	
	při 15 °C	při 30 °C			(MJ/kg)	(MJ/l)
Motorová nafta (MN) ¹⁾	840,7	831,0	$\rho(t) = \rho(15) - 0,65 \times (t-15)$	C : H : O = 85,9 : 13,5 : 0 S = 9 mg/kg, N = 25 mg/kg obsah vody = 40 mg/kg	43,13	36,26
SMN R31 (25 % V/V HVO, 6 % V/V FAME, 69 % V/V MN)	826,2	818,2	Přepočítat z MN, FAME, HVO	obsah vody = 58 mg/kg	43,05	35,57 4)
FAME ²⁾	882,7	871,9	$\rho(t) = \rho(15) - 0,723 \times (t-15)$	C : H : O = 77,0 : 11,9 : 10,6 S = < 3 mg/kg, N = 29 mg/kg Obsah vody = 340 mg/kg	37,1	32,75
HVO ³⁾	779,6	770,3	$\rho(t) = \rho(15) - 0,621 \times (t-15)$	C:H:O = 84,8 : 15,2 : 0 S = < 3 mg/kg, N = 1,5 mg/kg obsah vody = 30 mg/kg	44,04	34,33
SMN HVO 30 (30 % V/V HVO, 70 % V/V MN)	822,3	812,8	Přepočítat z MN, HVO	obsah vody = 38 mg/kg	43,39	35,68 4)

¹⁾ČSN EN 590, ²⁾ČSN EN 14214+A1, ³⁾EN 15940, ⁴⁾Přepočteno z jednotlivých složek a jejich hustoty při 15 °C

Tab.2 – Naměřené a vypočtené hodnoty výkonu motoru a měrné spotřeby paliva u traktoru Zetor 9540 pro palivo – motorová nafta

Měřený bod	Otáčky spalovacího motoru	Točivý moment	Výkon spalovacího motoru (PTO)	Hodinová spotřeba paliva	Hustota paliva	Měrná spotřeba paliva	Výhřevnost paliva	Měrná spotřeba paliva
	(ot/min)	(Nm)	(kW)	(l/h)	(kg/m ³)	(g/kWh)	(MJ/kg)	(MJ/kWh)
1	2 455	66	4,8	6,5	840,7	1138,45	43,13	49,10
2	2 406	361	25,7	8,3	840,7	271,51	43,13	11,71
3	2 363	593	41,4	13,0	840,7	262,89	43,13	11,39
4	2 306	934	63,7	16,4	840,7	276,44	43,13	9,34
5	2 257	1 016	67,8	19,8	840,7	245,51	43,13	10,59
6	2 207	1 059	69,1	20,7	840,7	251,85	43,13	10,86
7	2 105	1 122	69,1	20,7	840,7	249,33	43,13	10,75
8	2 009	1 165	69,1	20,5	840,7	249,41	43,13	10,76
9	1 906	1 214	68,4	20,3	840,7	249,51	43,13	10,76
10	1 810	1 248	66,8	20,2	840,7	254,22	43,13	10,96
11	1 708	1 256	63,4	19,8	840,7	262,55	43,13	11,32

Tab. 3 – Naměřené a vypočtené hodnoty výkonu motoru a měrné spotřeby paliva u traktoru Zetor 9540 pro palivo – SMN R31 (25 % V/V HVO, 6 % V/V FAME, 69 % V/V MN)

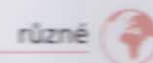
Měřený bod	Otáčky spalovacího motoru	Točivý moment	Výkon spalovacího motoru (PTO)	Hodinová spotřeba paliva	Hustota paliva	Měrná spotřeba paliva	Výhřevnost paliva	Měrná spotřeba paliva
	(ot/min)	(Nm)	(kW)	(l/h)	(kg/m ³)	(g/kWh)	(MJ/kg)	(MJ/kWh)
1	2 448	35	2,5	7,6	826,2	785,00	43,05	33,79
2	2 413	379	27,1	11,0	826,2	335,36	43,05	14,44
3	2 374	631	44,3	13,5	826,2	251,78	43,05	10,84
4	2 310	968	66,1	19,6	826,2	244,99	43,05	10,55
5	2 260	1 053	70,4	20,7	826,2	242,93	43,05	10,46
6	2 211	1 075	70,4	21,1	826,2	248,33	43,05	10,69
7	2 108	1 127	70,4	21,1	826,2	248,33	43,05	10,69
8	2 009	1 191	70,4	22,4	826,2	261,77	43,05	11,27
9	1 903	1 237	69,6	22,9	826,2	271,84	43,05	11,70
10	1 814	1 299	69,6	23,2	826,2	275,40	43,05	11,86

Tab. 4 – Naměřené a vypočtené hodnoty výkonu motoru a měrné spotřeby paliva u traktoru Zetor 9540 pro palivo – SMN HVO 30 (30 % V/V HVO, 70 % V/V MN)

Měřený bod	Otáčky spalovacího motoru	Točivý moment	Výkon spalovacího motoru (PTO)	Hodinová spotřeba paliva	Hustota paliva	Měrná spotřeba paliva	Výhřevnost paliva	Měrná spotřeba paliva
	(ot/min)	(Nm)	(kW)	(l/h)	(kg/m ³)	(g/kWh)	(MJ/kg)	(MJ/kWh)
1	2 448	35	2,5	7,6	822,3	785,00	43,39	34,06
2	2 413	359	25,6	10,1	822,3	324,42	43,39	14,08
3	2 360	677	47,2	13,7	822,3	238,68	43,39	10,36
4	2 306	957	65,3	16,4	822,3	206,52	43,39	8,96
5	2 260	1 028	68,7	20,1	822,3	240,59	43,39	10,44
6	2 204	1 063	69,2	20,4	822,3	242,41	43,39	10,52
7	2 097	1 120	69,4	20,5	822,3	242,90	43,39	10,54
8	2 002	1 176	69,4	20,3	822,3	239,84	43,39	10,41
9	1 910	1 226	69,2	20,3	822,3	241,22	43,39	10,47
10	1 803	1 259	67,1	20,0	822,3	245,10	43,39	10,63
11	1 711	1 291	65,3	19,8	822,3	249,33	43,39	10,82

Tab. 5 – Naměřené a vypočtené hodnoty výkonu motoru a měrné spotřeby paliva u traktoru Zetor 9540 pro palivo – HVO

Měřený bod	Otáčky spalovacího motoru	Točivý moment	Výkon spalovacího motoru (PTO)	Hodinová spotřeba paliva	Hustota paliva	Měrná spotřeba paliva	Výhřevnost paliva	Měrná spotřeba paliva
	(ot/min)	(Nm)	(kW)	(l/h)	(kg/m ³)	(g/kWh)	(MJ/kg)	(MJ/kWh)
1	2 448	35	2,5	7,6	779,6	785,00	44,04	34,57
2	2 413	347	24,7	9,0	779,6	284,06	44,04	12,51
3	2 360	635	44,3	13,3	779,6	234,06	44,04	10,31
4	2 310	928	63,3	16,0	779,6	197,06	44,04	8,68
5	2 253	996	66,3	20,5	779,6	241,05	44,04	10,62
6	2 204	1 030	67,1	20,5	779,6	238,18	44,04	10,49
7	2 101	1 106	68,7	20,5	779,6	232,63	44,04	10,25
8	2 005	1 136	67,3	20,3	779,6	235,15	44,04	10,36
9	1 906	1 190	67,0	21,3	779,6	247,84	44,04	10,92
10	1 807	1 237	66,0	21,6	779,6	255,14	44,04	11,24
11	1 708	1 258	63,5	22,0	779,6	270,10	44,04	11,90



V tabulce 1 jsou uvedena jednotlivá měřená paliva s elementárními složením, výhřevností a hustotou.

Výsledky měření

Naměřené a vypočtené hodnoty výkonu motoru a měrné spotřeby jednotlivých paliv uvádí tabulky 2-6. Následně grafické zobrazení výsledků měření je uvedeno v grafech 1-5. V grafu 1 je zobrazena vnější otáčková charakteristika motoru pro referenční palivo (čistá motorová nafta).

Z těchto výsledků je patrné, že pro referenční palivo byl nejvyšší výkon motoru (přes PTO) 69,1 kW v rozsahu otáček 2207 až 2009 ot/min a měrná spotřeba paliva při jmenovitých otáčkách 245,51 g/kWh. Z technických parametrů výrobce traktoru jsou jmenovité otáčky motoru 2250 ot/min. V grafech 2-5 jsou zobrazeny výsledky měření jednotlivých biopaliv v porovnání s výsledky dosaženými při použití referenčního paliva. Z nich je patrné, že u paliva SMN R31 byl naměřen celkově nejvyšší výkon motoru (přes PTO) v celém rozsahu měřených otáček (tab. 3 a graf 2). Maximální výkon motoru tohoto paliva činil 70,4 kW (při 2260 ot/min), u motorové nafty byl maximální výkon motoru 69,1 kW (při 2207 ot/min). U tohoto paliva byla nižší i měrná spotřeba paliva oproti motorové naftě (242,93 g/kWh).

U paliva SMN HVO 30 byl změřen o 0,3 kW vyšší maximální výkon motoru v porovnání s referenčním palivem. U tohoto paliva byla změřena a vypočtena nejnižší měrná spotřeba paliva (240,59 g/kWh) při jmenovitých otáčkách motoru. Při použití čistého HVO maximální výkon motoru klesl o 0,4 kW oproti motorové naftě.

Nejmenší maximální výkon motoru byl změřen u paliva FAME. Tento výkon byl nižší o 2,6 kW oproti referenčnímu palivu, zároveň měrná spotřeba paliva při jmenovitých otáčkách motoru byla nejvyšší a činila 280,22 g/kWh.

Diskuse

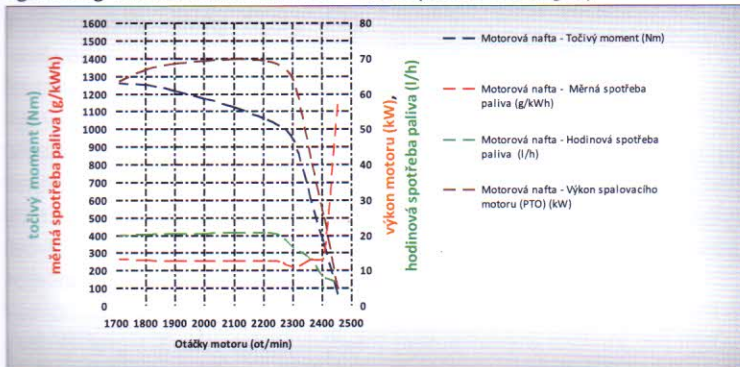
Z výsledků měření je patrné, že při použití určitého biopaliva může dojít k nárůstu nebo poklesu výkonu motoru ve vztahu k referenčnímu palivu (motorové naftě). Z těchto výsledků je zajímavé, že vhodnou kombinací



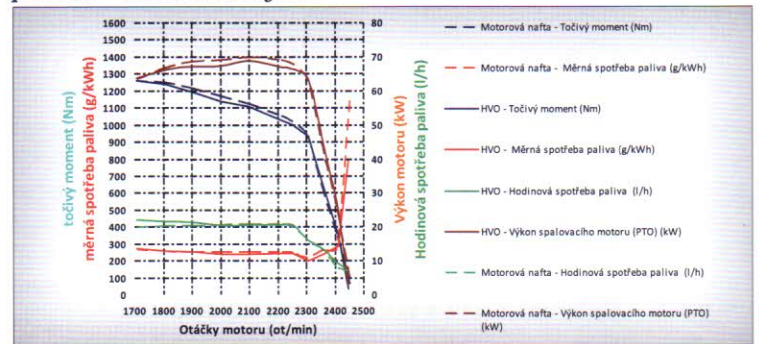
Tab. 6 – Naměřené a vypočtené hodnoty výkonu motoru a měrné spotřeby paliva u traktoru Zetor 9540 pro palivo – FAME

Měřený bod	Otáčky spalovacího motoru	Točivý moment	Výkon spalovacího motoru (PTO)	Hodinová spotřeba paliva	Hustota paliva	Měrná spotřeba paliva	Výhřevnost paliva	Měrná spotřeba paliva
	(ot/min)	(Nm)	(kW)	(l/h)	(kg/m ³)	(g/kWh)	(MJ/kg)	(MJ/kWh)
1	2 448	74	5,4	7,6	882,7	1242,32	37,10	46,09
2	2 402	364	25,9	9,0	883,7	307,08	37,10	11,39
3	2 353	651	45,3	14,0	884,7	273,42	37,10	10,14
4	2 299	934	63,5	17,8	885,7	248,27	37,10	9,21
5	2 253	984	65,5	20,7	886,7	280,22	37,10	10,40
6	2 197	1 012	65,7	20,9	887,7	282,39	37,10	10,48
7	2 097	1 072	66,5	20,7	888,7	276,63	37,10	10,26
8	1 998	1 118	66,0	20,5	889,7	276,35	37,10	10,25
9	1 899	1 168	65,5	20,3	890,7	276,05	37,10	10,24
10	1 796	1 211	64,3	20,2	891,7	280,13	37,10	10,39
11	1 708	1 214	61,3	20,2	882,7	290,87	38,10	11,08

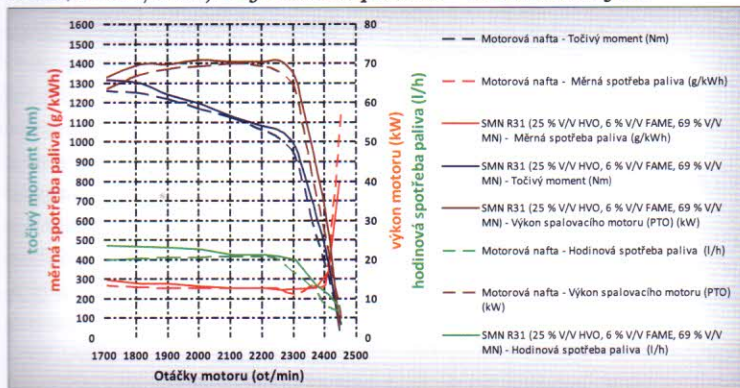
Graf 1 – Vnější otáčková charakteristika motoru měřená přes vývodový hřídel traktoru Zetor – 9540 (motorová nafta)



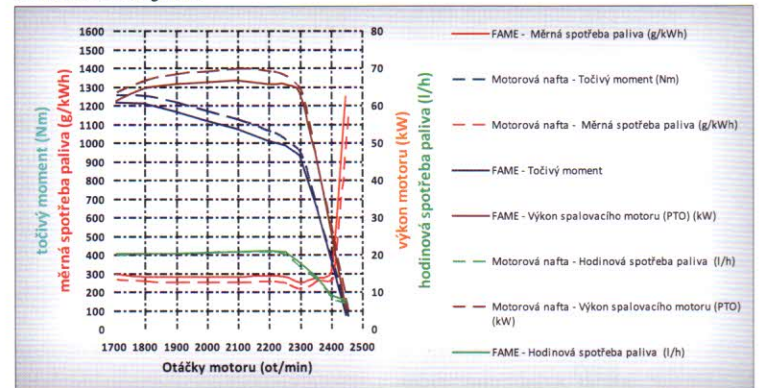
Graf 4 – Vnější otáčková charakteristika motoru měřená přes vývodový hřídel traktoru Zetor – 9540 paliva HVO s referenčním palivem – motorovou naftou



Graf 2 – Vnější otáčková charakteristika motoru měřená přes vývodový hřídel traktoru Zetor – 9540 paliva SMN R31 (25 % V/V HVO, 6 % V/V FAME, 69 % V/V MN) s referenčním palivem – motorovou naftou

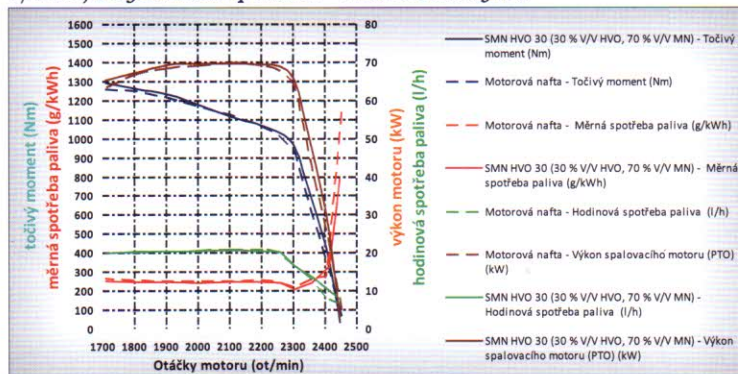


Graf 5 – Vnější otáčková charakteristika motoru měřená přes vývodový hřídel traktoru Zetor – 9540 paliva FAME s referenčním palivem – motorovou naftou



biosložek FAME a HVO lze dosáhnout u tohoto typu spalovacího dieselového motoru vyššího navýšení výkonu motoru než při použití pouze jedné biosložky, popř. čisté (100%) biosložky bez použití nafty. Testováním pokročilých biopaliv se potvrdila skutečnost, jak je důležité provádět zkoušky na různých konstrukcích a nastaveních motorů. Zatímco v našem předchozím článku, který byl uveřejněn v Mechanizaci zemědělství 6/2017 a zabýval se porovnáním tří směsí paliv na jednoválcovém laboratorním modelovém motoru, se při vzrůstajícím podílu

Graf 3 – Vnější otáčková charakteristika motoru měřená přes vývodový hřídel traktoru Zetor – 9540 paliva SMN HVO 30 (30 % V/V HVO, 70 % V/V MN) s referenčním palivem – motorovou naftou



HVO projevil i vzrůstající výkon motoru oproti čisté naftě, u sériového spalovacího motoru se všemi komponenty a v zástavbě traktoru se tento trend nepotvrdil a při použití pouze biosložky s HVO doházelo dokonce k poklesu výkonu motoru.

Poděkování: Článek vznikl za podpory grantového projektu QJ1510385.

Ing. Radek Pražan, Ph. D.,
Ing. Petr Jevič, CSc., prof. h. c.,
Ing. Zdena Šedivá, VÚZT Praha
Lektoroval Ing. Václav Podpěra, CSc.