

Zkoušky paliva s vysokým obsahem obnovitelných parafinických složek z hydrogenační rafinace na motorech

Ing. Ivo Krajíček – SGS Czech Republic, s.r.o., Kolín
Ing. Petr Jevič, CSc., prof. h.c. – VÚZT, v.v.i., Praha

Fuel Tests with High Content of Renewable Paraffinic Components from Hydrogenation Refining in Internal Combustion Engines

Abstract:

A fuel based on hydrogenated vegetable oils (HVO) is one of the possible alternatives to conventional diesel for use in the internal combustion engines. Based on published studies of the effect of HVO and its mixtures on the engine performance parameters, and measurements of the monitored exhaust emissions were performed on a single-cylinder engine and a diesel VW engine to verify these results compared to standard diesel. The influence of HVO was also verified during dual engine operation.

Keywords: combustion engine, diesel fuel, hydrogenated vegetable oils (HVO), engine performance parameters, exhaust emissions of diesel engine, dual engine

Zkoušky paliva s vysokým obsahem obnovitelných parafinických složek z hydrogenační rafinace na motorech

Ing. Ivo Krajíček, SGS Czech Republic, s.r.o., OGC, Praha

Ing. Petr Jevič, CSc., VÚZT, v.v.i. & SVB, Praha

TECHAGROBrno, 11. června 2018

WHEN YOU NEED TO BE SURE

SGS

SGS

Souhrn

- Palivo na bázi hydrogenovaných rostlinných olejů (HVO) je jednou z možných alternativ ke klasické motorové naftě pro použití ve spalovacích motorech.
- Na základě publikovaných studií vlivu HVO a jeho směsí na výkonové parametry motorů a výsledkům měření sledovaných emisí výfukových plynů byla provedena měření na laboratorním jednoválcovém motoru a vznětovém motoru pro ověření těchto výsledků v porovnání se standardní naftou.
- Vliv HVO byl ověřen i při provozu duálního motoru.

SGS

Summary

- A fuel based on hydrogenated vegetable oils (HVO) is one of the possible alternatives to conventional diesel for use in the internal combustion engines.
- Based on published studies of the effect of HVO and its mixtures on the engine performance parameters, and measurements of the monitored exhaust emissions were performed on a single-cylinder engine and a diesel VW engine to verify these results compared to standard diesel.
- The influence of HVO was also verified during dual engine operation.

SGS

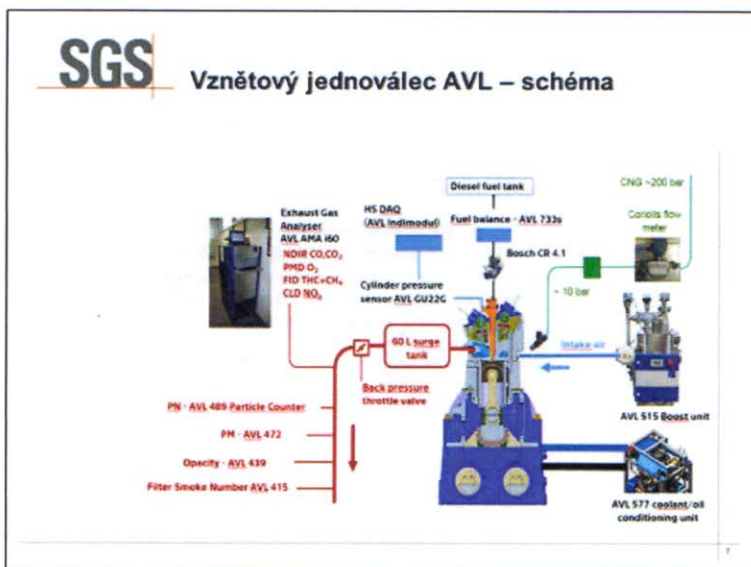
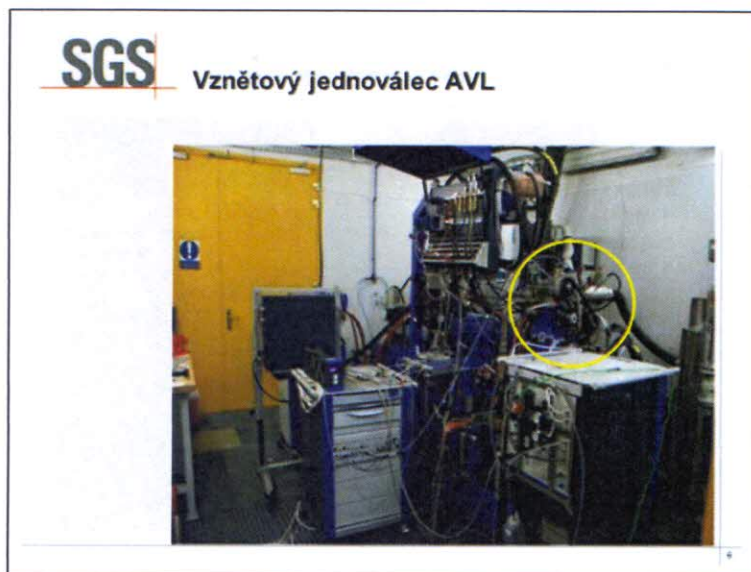
Úvod

- HVO (hydrogenovaný rostlinný olej)
 - alternativa klasické motorové naftě pro použití ve spalovacích motorech
- Směs motorové nafty s 30% (HVO30), resp. HVO100
 - Potvrdit pozitivní vliv HVO a jeho směsi na
 - výkonové parametry motorů
 - sledované emise výfukových plynů
- Zkoušky a měření
 - laboratorním jednoválcovým motorem (CVUM Roztoky/ČVUT)
 - standardním plnoozměrném vznětovém motoru TDI

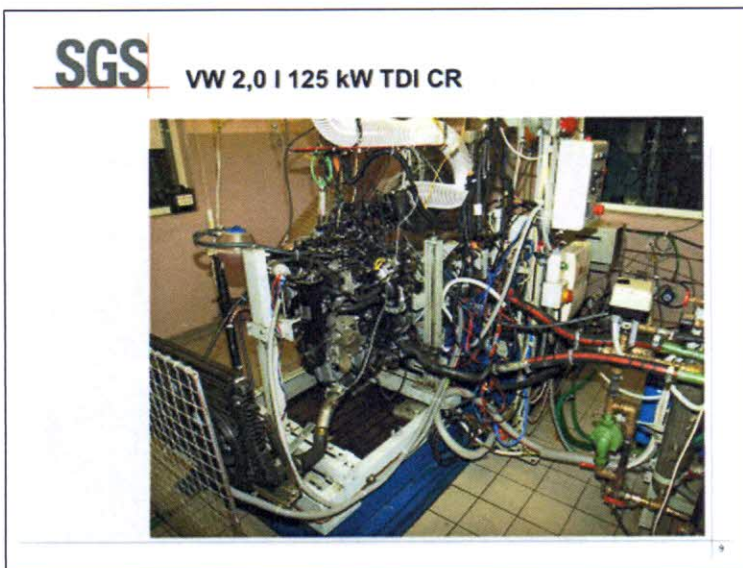
SGS

Motory

- Vznětový jednoválec AVL Typ 5402 088
 - laboratorní motor
 - vrtání / zdvih 85 x 90 mm,
 - kompresní poměr 14:1 (maximální spalovací tlak 180 MPa)
 - programovatelná řídicí jednotka Ricardo rCube2
 - externí zařízení AVL 577 - udržování konstantního tlaku, teploty oleje a chladicí kapaliny
 - externí zařízení AVL 515 - konstantní plnicí tlak a teplota nasávaného vzduchu
 - není vybaven zařízením pro úpravu výfukových plynů (tedy bez oxidačního katalyzátoru, filtru pevných částic, ani zpětným vedením výfukových plynů do spalovacího prostoru – EGR)



- SGS** Motory
- VW 2,0 I 125 kW TDI CR
 - čtyřdobý, řadový, vznětový, celohliníkový čtyřválcový motor s rozvodem 2x OHC se čtyřventilovou mechanikou, objem motoru 1.968 cm³, M_{tmax} 350 Nm / 1750 - 2500 min⁻¹, Euro 5 J, CO₂ emise 116 g/km
 - přímé vstřikování paliva common rail (systém čerpadlo – tryska), přepínaný turbodmychadlem (s proměnnou geometrií lopatek) s mezichladiči výfukových plynů a nasávaného vzduchu a stavitelnými elektronicky řízenými regulačními klapkami v sacím potrubí
 - standardní řídicí jednotka fy BOSCH typu EDC17
 - sériové provedení s oxidačním katalyzátorem, filtrem pevných částic (DPF) a systémem recirkulace spalin (EGR)



SGS Metodiky měření

- Vznětový jednoválec AVL Typ 5402.088
 - základem je cyklus WHSC – světový harmonizovaný cyklus
 - dvanáct kombinací otáček a zatížení motoru pokrývající nejčastěji využívané provozní body motoru
 - v automatickém režimu, měřeny a zaznamenány výkonové, teplotní a tlakové parametry motoru, měrná spotřeba paliva, emisní parametry

Prostř.	Spod.	(N/F)	Průměr (D/F)	SGP (wt %)	Gas Phase (%)
1	600	142	0	6	6.6
2	2499	1273	100	6.6	100
3	2499	310	25	6.6	25
4	2499	661	75	6.6	75
5	1881	1423	100	6	100
6	1872	373	10	6.6	24
7	2180	657	10	6.6	30
8	2180	536	25	6.6	25
9	2499	657	50	6.6	50
10	3117	1087	100	6.6	100
11	1881	120	50	6.6	46.4
12	1881	355	20	6.6	25
13	600	142	0	6	6.6

SGS Metodiky měření

- VW 2,0 I 125 kW TDI CR
 - dvacet čtyř kombinací otáček a zatížení motoru
 - vychází z úplné křivky motoru, úrovně otáček v rozmezí od 1 500 do 4 000 min⁻¹ s krokem otáček 500 min⁻¹; při zatížením odpovídajícím hodnotám polohy pedálu akceleratoru pro úrovně 25 %, 50 %, 75 a % 100 % točivého momentu
 - v automatickém režimu měřeny a zaznamenány výkonové, teplotní a tlakové parametry motoru, měrná spotřeba paliva, emisní parametry

SGS Použitá paliva

- Na základě předchozích zkušeností a zejména k přihlednutím publikovaným studiím vlivu HVO a jeho směsí na výkonové parametry motorů, výsledkům měření sledovaných emisí výřukových plynů byla pro zkoušky a měření na laboratorním jednoválcovém motoru a plnorozměrném motoru vybrána paliva
 - standardní motorová nařta splňující EN ISO 590 jako etalon a základní palivo (vzorek 1611)
 - směs 30% biopaliva HVO se standardní motorovou nařtou splňující EN ISO 590 (vzorek 1612)
 - biopalivo HVO 100% (vzorek 1610)
 - stlačený zemní plyn (CNG); pro měření na duálním motoru

12

SGS Energetické parametry – motor AVL

- Střední indikovaný výkon motoru v cyklu WHSC
 - je dobře patrný růst indikovaného výkonu P_i se zvyšující se koncentrací HVO v palivu, trend lze považovat za prokázáný díky jednoznačnosti jeho průběhu a dosaženému nejvyššímu rozdílu 4,53% při HVO100

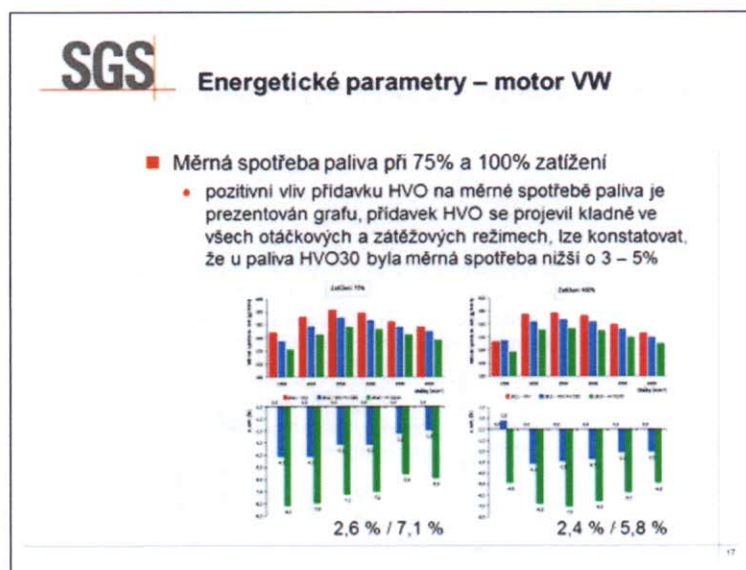
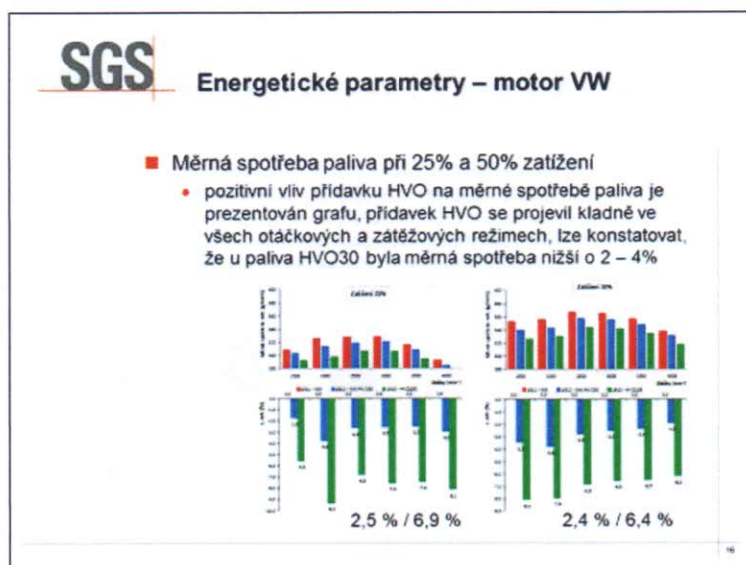
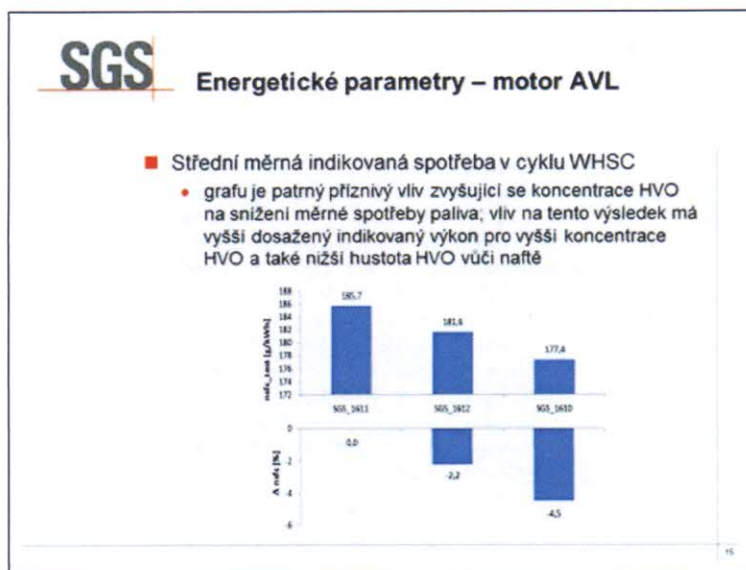
Vzorek	$P_{i,ind}$ [kW]	AP [%]
SGS_1611	4,21	0,002
SGS_1612	4,27	1,41
SGS_1610	4,40	4,53

13

SGS Energetické parametry – motor VW

- Výkonové parametry při 100% zatížení
 - s referenčním palivem i s palivy HVO30 a HVO100 nebyly zjištěny významné rozdíly; hodnoty dílčích zatížení odpovídající 25 %, 50 % nebo 75 % poloze pedálu akcelerařtoru se lišily do 2% celkové měřené hodnoty, což lze považovat hodnotu v intervalu nejistoty měření
 - při plném zatížení, byly naměřeny mírně vyšší hodnoty výkonových parametrů s palivem HVO100

14



SGS Závěry

■ Energetické parametry

- Motor AVL
 - patrný růst indikovaného výkonu P_i se zvyšující se koncentrací HVO v palivu; HVO100 nárůst o 4,53%
- Motor VW
 - nárůst výkonu se zvyšující se koncentrací HVO je patrný při vyšším zatížení; HVO100 – nárůst do 3% při 100% zatížení

■ Měrná spotřeba paliva

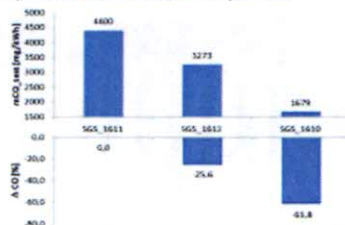
- Motor AVL
 - příznivý vliv zvyšující se koncentrace HVO na snížení měrné spotřeby paliva; HVO100 – pokles o 4,5%
- Motor VW
 - HVO30 – nižší o cca 2,3% ve všech režimech
 - HVO100 – při nižším zatížení je vyšší pokles měrné spotřeby; při $P_{25\%}$ pokles o 4 – 9%; $P_{100\%}$ pokles 5 – 7%

18

SGS Emisní parametry CO – motor AVL

■ Měrná střední emise oxidu uhelnatého

- vliv zvyšující se koncentrace HVO v palivu je jednoznačný
- 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 spalin s oxidačním katalyzátorem pro všechna měřená paliva s emisí CO úspěšně vypořádal

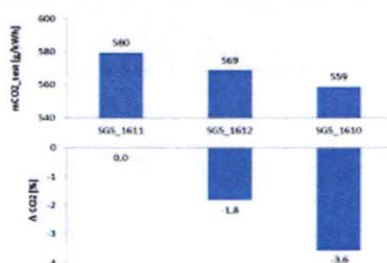


19

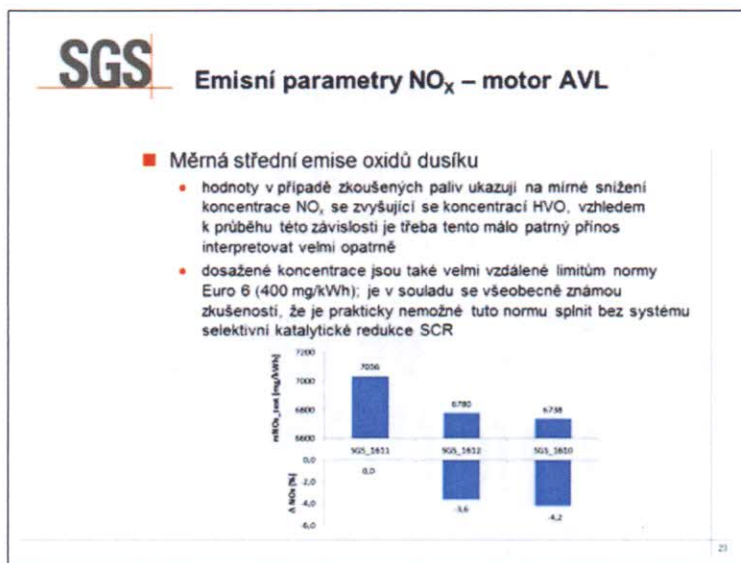
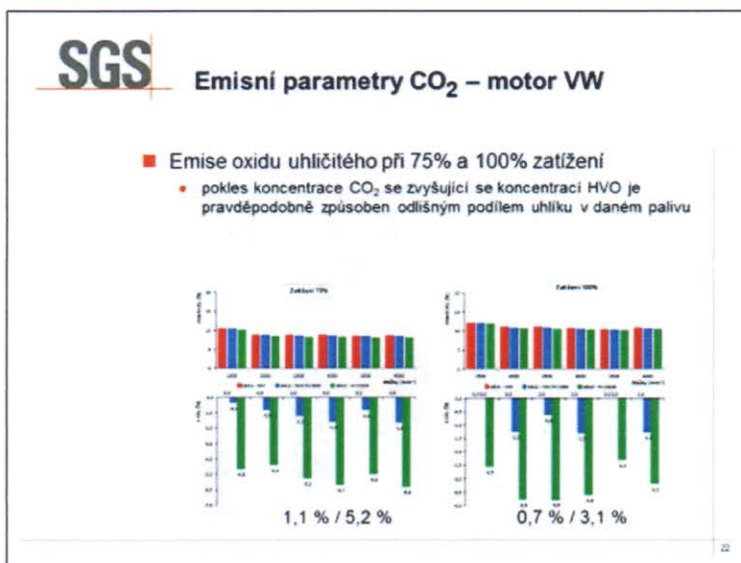
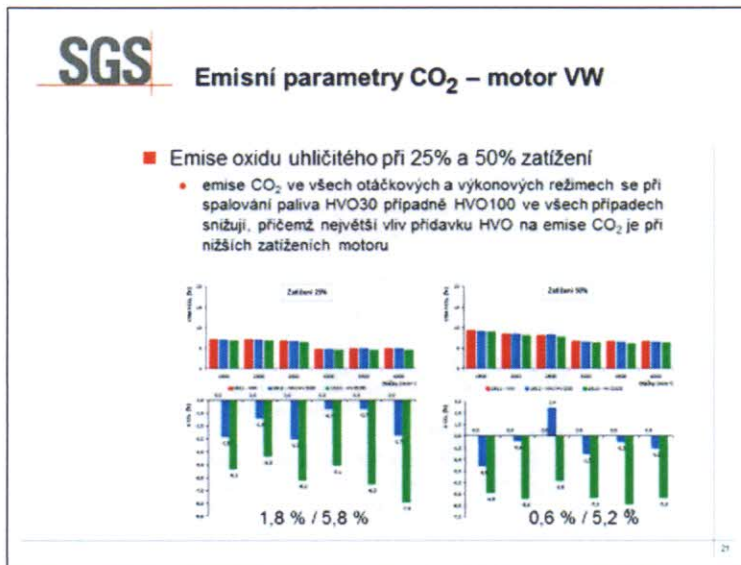
SGS Emisní parametry CO₂ – motor AVL

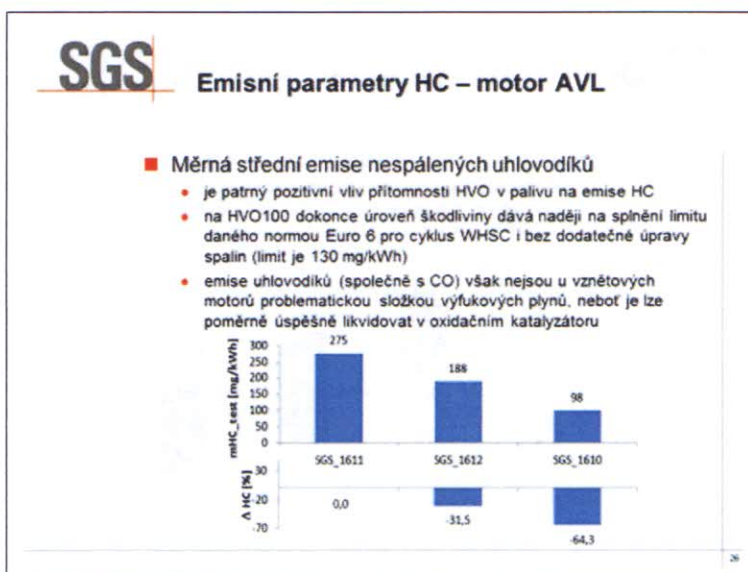
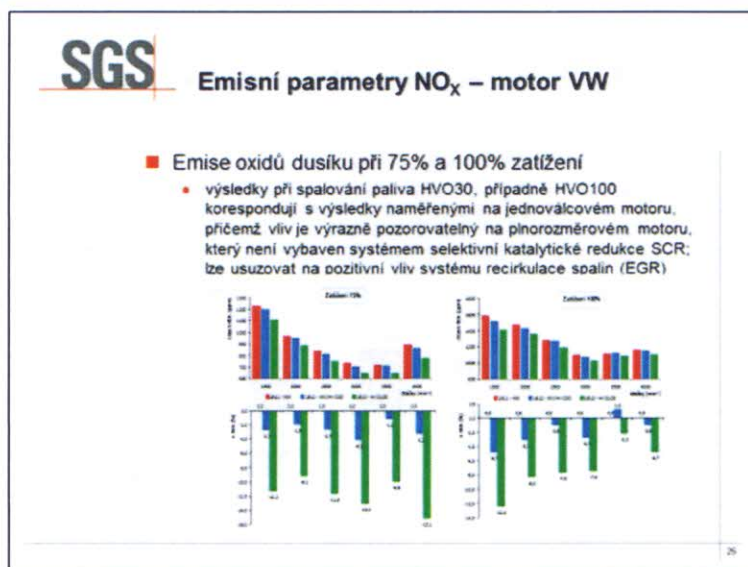
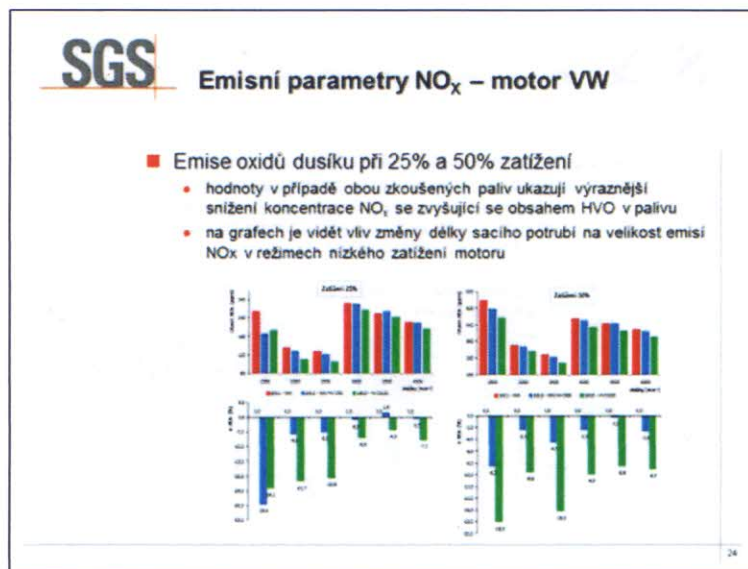
■ Měrná střední emise oxidu uhličitého

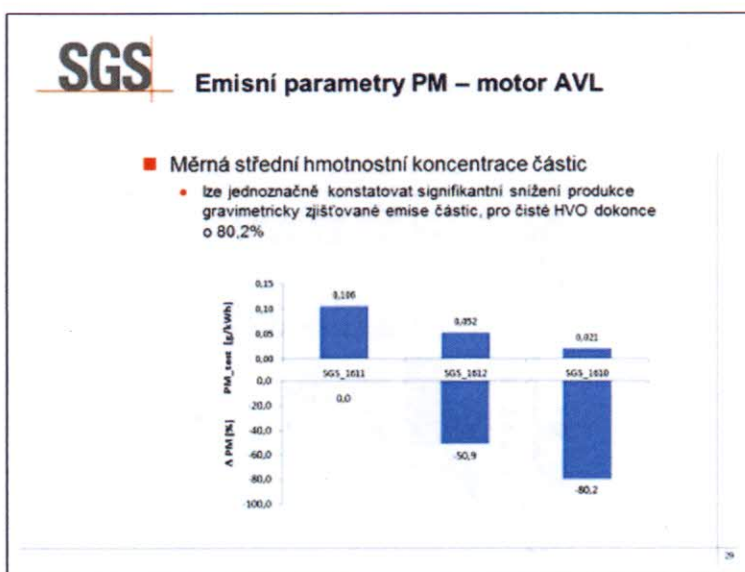
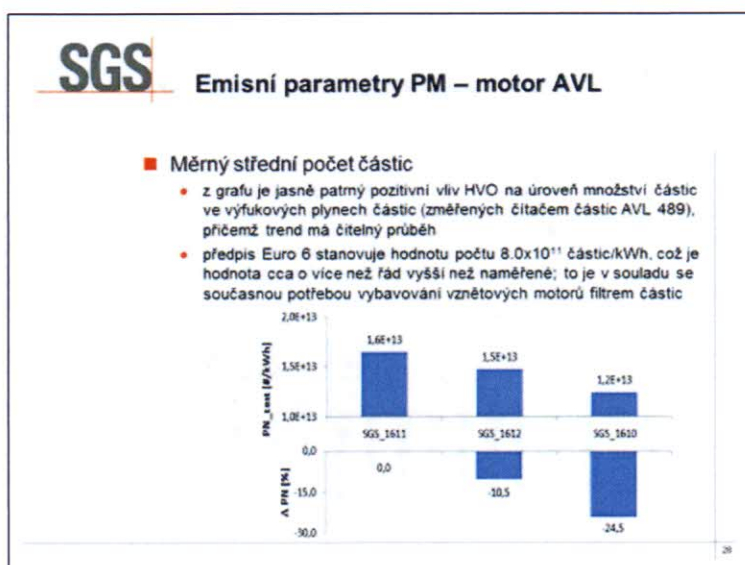
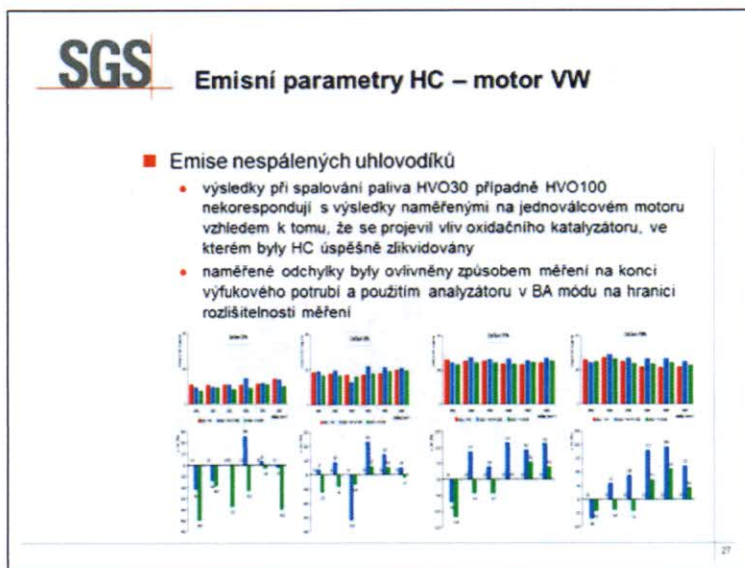
- je zobrazena v grafu.
- malý pokles koncentrace CO₂ se zvyšující se koncentrací HVO je pravděpodobně způsoben odlišným podílem uhlíku v daném palivu

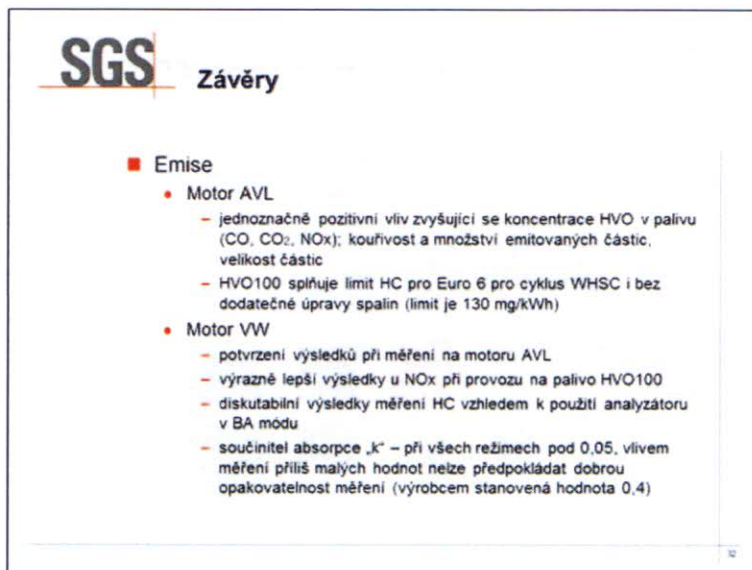
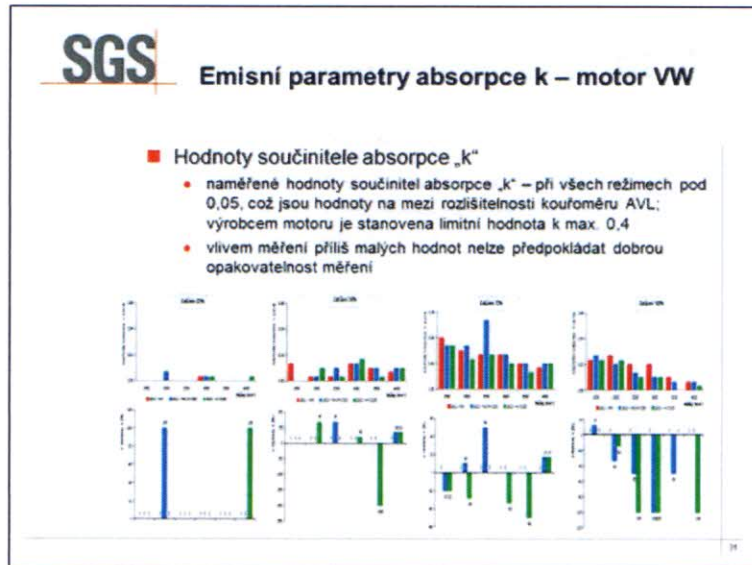
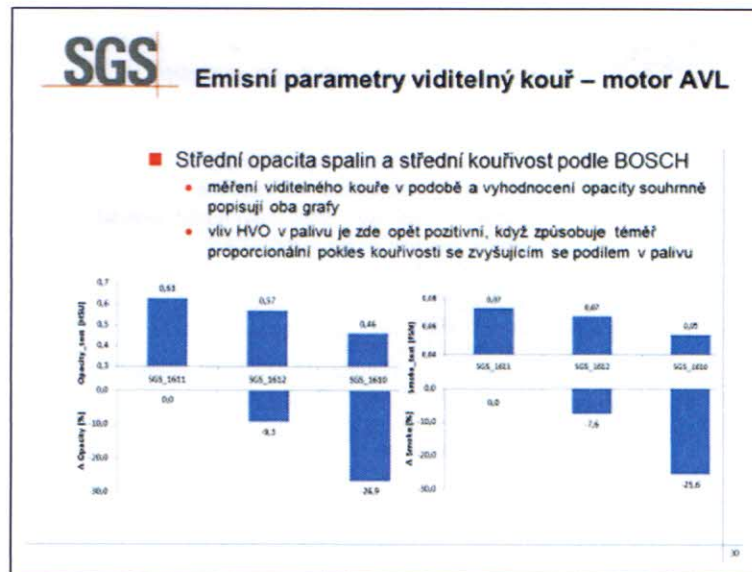


20



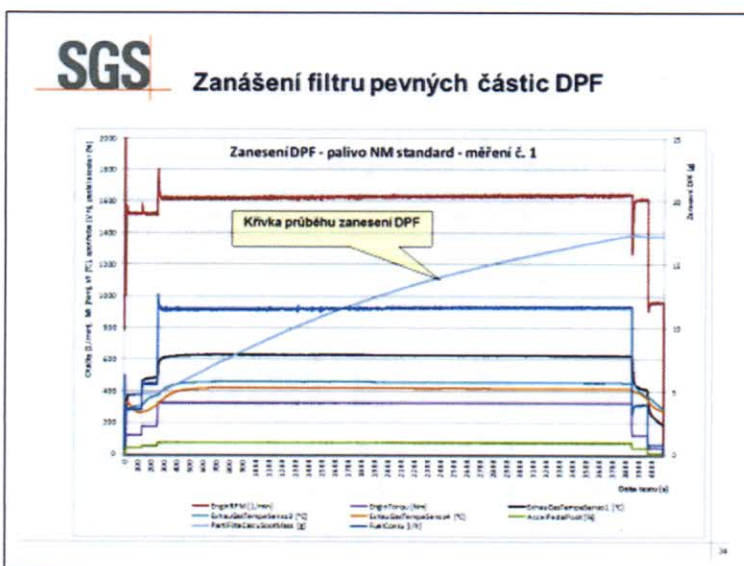






SGS Zanašení filtru pevných částic DPF

- Měření zanesení filtru pevných částic
 - alternativa k měření počtu a velikosti PM
 - využita možnost diagnostického SW řídících jednotek
 - výpočet zanesení ověřen vážením DPF
 - konstantní ustálený režim
 - 1600 min⁻¹
 - 75% zatížení
 - 1 hodina běhu motoru
 - stanovena limitní hodnota 18 g zanesení – pasivní regenerace DPF



SGS Zanašení filtru pevných částic DPF

Palivo	Nafta motorová	NM / HVO30	HVO100
Číslo vzorku paliva	1611	1612	1610
Průměrná hodnota měření [g]	11,8	11,1	10,3
Δ zanesení DPF [%]	0,0	-6,8	-15,3

SGS

Zanášení filtru pevných částic DPF

■ Shrnutí

- palivo HVO30 prodlužuje čas potřebný k zanesení DPF o 7%, palivo HVO100 o více než 15%
- stoupající podíl HVO v palivu snižuje množství úsad v DPF a významně se prodlužuje doba mezi jednotlivými regeneracemi DPF, což se pozitivně odráží nejen ve spotřebě paliva, ale i na životnosti filtru pevných částic, který není nutno tak často regenerovat
- lze usuzovat, že skladba částic bude vzhledem k vlivu HVO na spalovací proces rozdílná (s nižším podílem nežádoucích velkých pevných nespalitelných, a obtížně regenerovatelných částic), regenerace bude lépe proveditelná a tudíž ve svém důsledku se prodlouží doba životnosti DPF

SGS

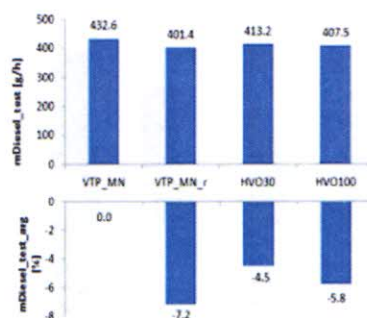
Měření v režimu duálního motoru

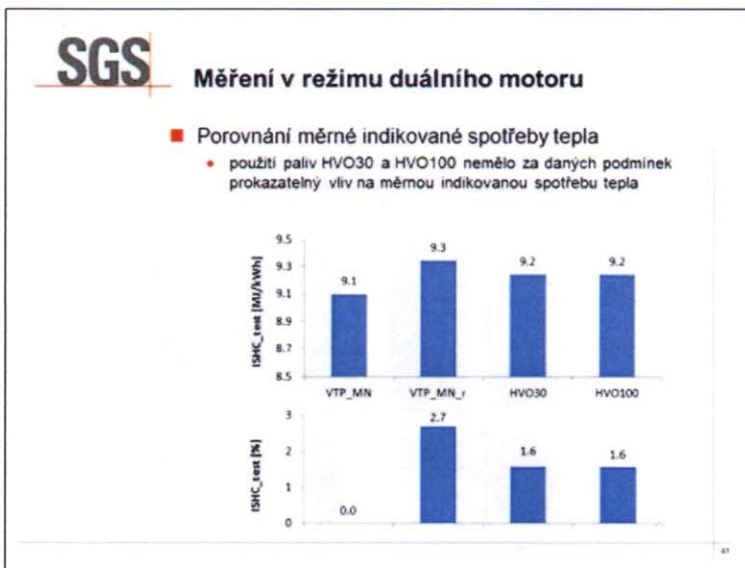
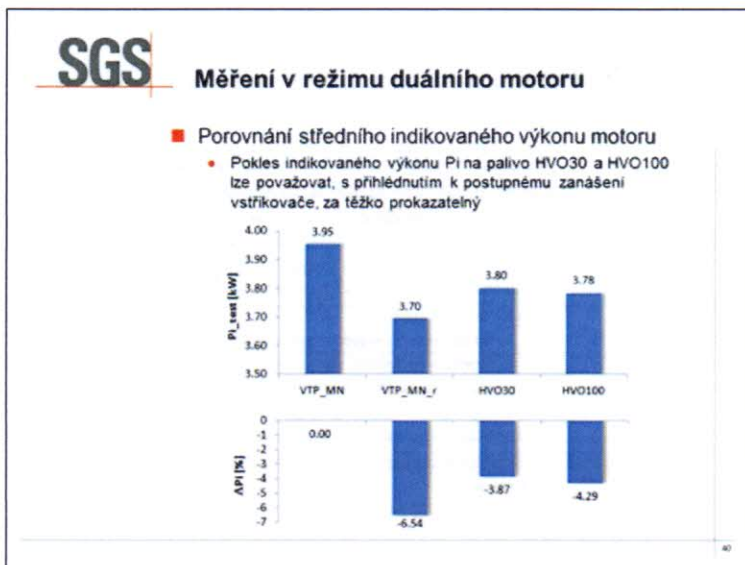
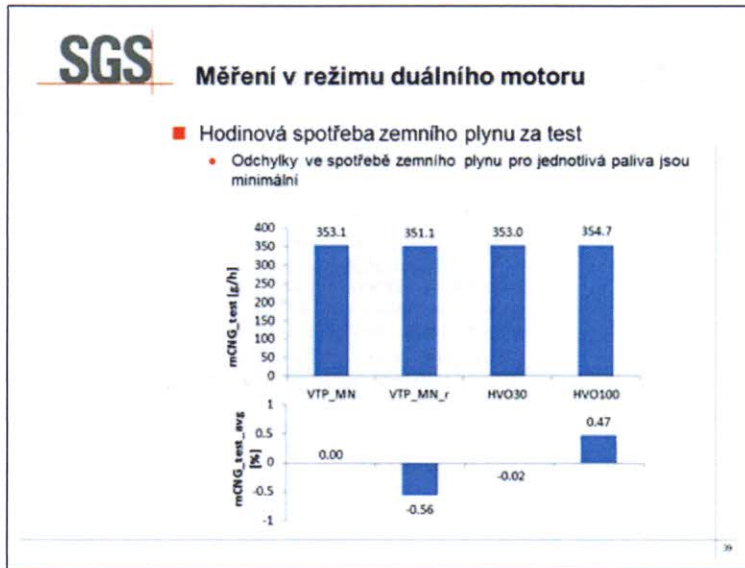
- Zkoušky rozdílných kapalných paliv vhodných pro vznětové motory (duální motory) spalujícího zemní plyn zapalovaný vznětem kapalného paliva
 - Ve vhodných režimech dochází ke spalování připravené (přibližně homogenní) směsi zemního plynu a vzduchu iniciovaného vznětem kapalného paliva
 - Vliv složení paliva
 - na základní energetické parametry
 - tvorbu emisí včetně emisí částic
 - vlastnosti vstřikovače z hlediska jeho zanášení
 - Princip měření stejný jako při předchozím měření + kontrola vstřikovačů po každé sérii měření
 - Spalovací prostor motoru není optimalizován na duální provoz

SGS

Měření v režimu duálního motoru

- Hodinová spotřeba kapalného zapalovacího paliva
 - Pokles dávky paliva v průběhu testu o 7,2 % potvrzuje trend změny při testování vstřikovače na testovací stolici





SGS Závěry

- Vliv spalování kapalných paliv s CNG
 - při posuzování vlivu kapalného zapalovacího paliva na spalování je třeba přihlídnout
 - k nízkému použitému kompresnímu poměru použitého motoru a tím zvýšeným požadavkům na schopnost paliva vznítit se
 - negativní vliv snížení zapalovací energie následkem zanášení vstřikovače zapalovacího paliva
 - zvyšování podílu HVO v zapalovacím palivu urychluje především počátek spalování a jeho úvodní fázi
 - výrazné zvyšování rychlosti nárůstu tlaku pro zvyšující se koncentrace HVO v palivu a tomu odpovídající teplotní zatížení motoru, resp. nutnost úpravy počátku vstřiku
 - nutnost ve vybraných režimech zpožďovat vstřik kapalného paliva a tím i snížení P_i (zjištěným kratším úhlem hoření)
 - zvýšení hlučnosti motoru generované spalováním se zvyšující koncentrací HVO v palivu
 - vliv zvyšující se koncentrace HVO nelze hodnotit v případě duálního laboratorního motoru pozitivně

SGS Měření v režimu duálního motoru

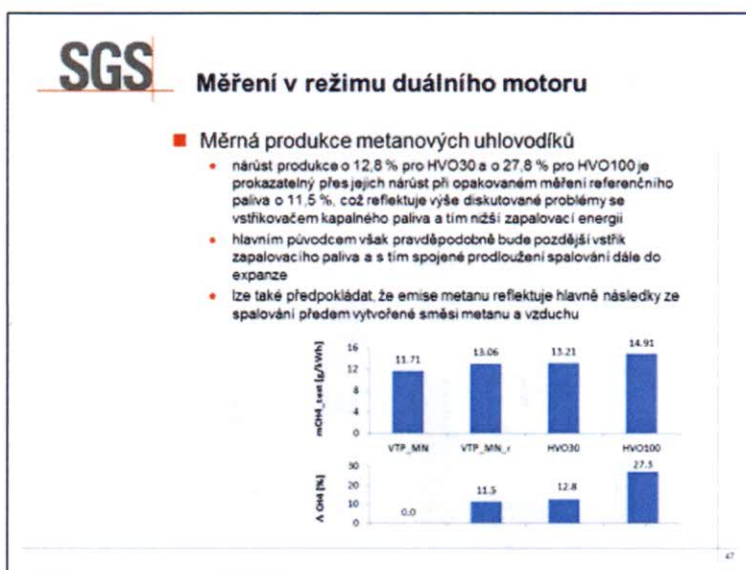
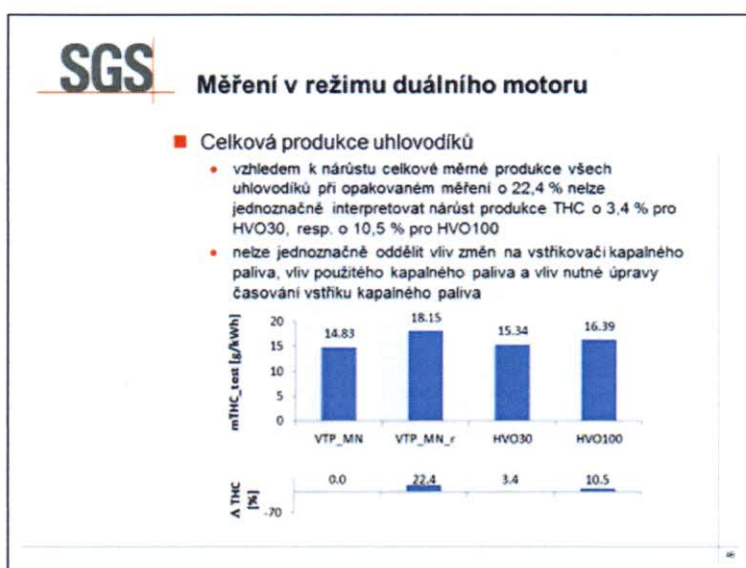
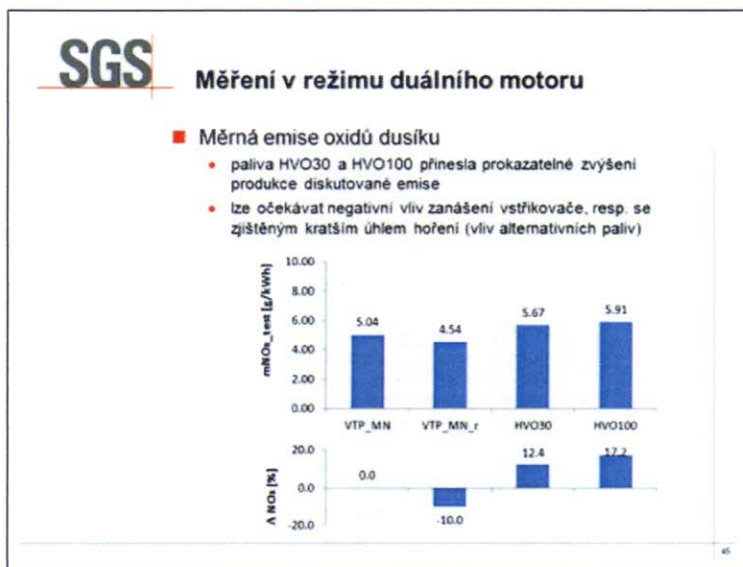
- Měrná emise oxidu uhelnatého
 - zvyšování koncentrace HVO v kapalném palivu má jednoznačně pozitivní vliv na snížení měrné produkce CO
 - snížení o 6.8 % pro HVO30 a o 28.4 % pro HVO100
 - lze očekávat negativní vliv zanášení vstřikovače

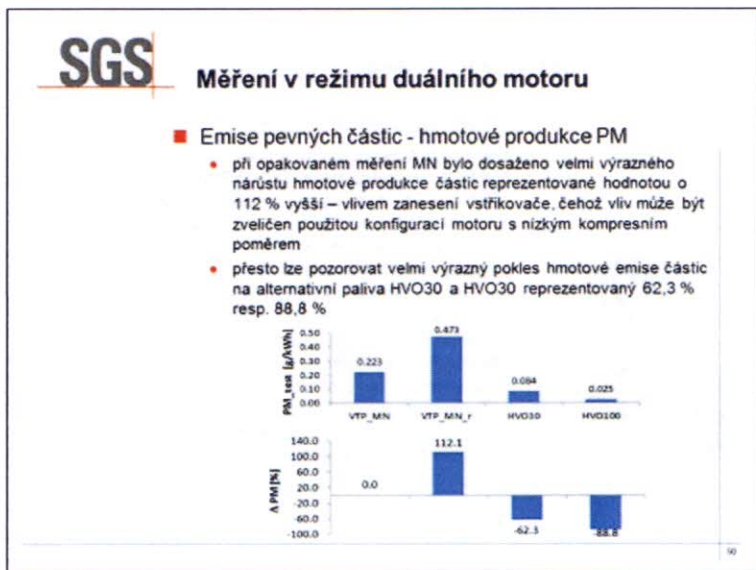
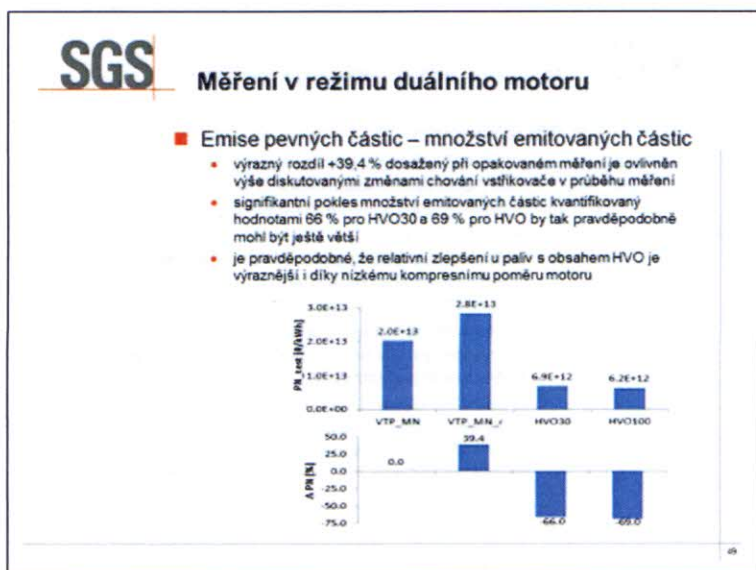
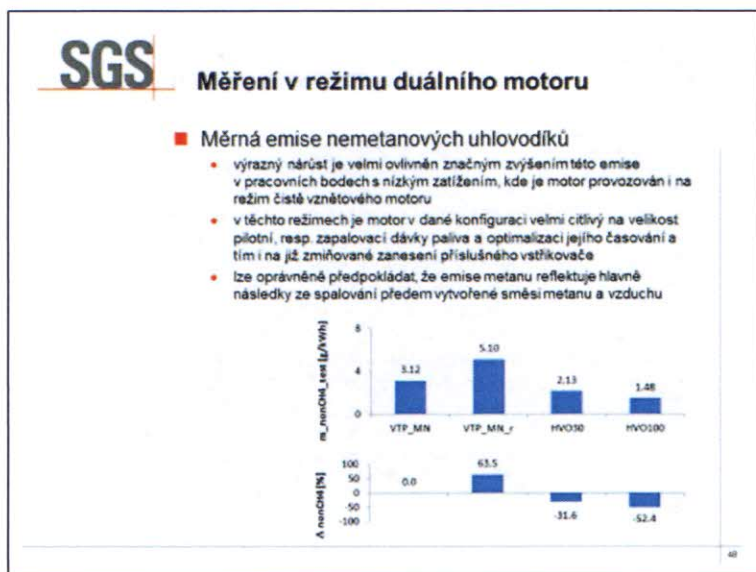
Palivo	mCO _{2,net} [g/kWh]	ΔCO [%]
VTP_MN	21.0	0.0
VTP_MN_r	24.5	17.0
HVO30	19.5	-6.8
HVO100	15.0	-28.4

SGS Měření v režimu duálního motoru

- Měrná emise oxidu uhličitého
 - nárůst produkce měrné emise CO₂ je mírný, až těžko prokazatelný

Palivo	mCO _{2,test} [g/kWh]	ΔCO ₂ [%]
VTP_MN	511	0.0
VTP_MN_r	508	-0.6
HVO30	519	1.6
HVO100	522	2.1







Měření v režimu duálního motoru

■ Shrnutí a závěry (1)

- měření bylo ovlivněno problémy s postupným zanašením vstřikovače
- použitou konfigurací motoru s nízkým kompresním poměrem o hodnotě 14:1 (18:1 minimum, pro CNG motory je standard nad 22:1)
- nezanedbatelný vliv byl zpoždění časování vstřiku kapalného paliva při použití alternativních paliv místo referenčního
- přesto jsou patrné některé jednoznačné trendy při použití posuzovaných paliv HVO30 a HVO100
- jednoznačně pozitivní vliv paliv HVO30 a HVO100 lze pozorovat ve výrazném snížení legislativně zakotvených emisí částic reprezentovaných hmotovým měřením (PM) a počtem částic (PN)

51



Měření v režimu duálního motoru

■ Shrnutí a závěry (2)

- paliva HVO30 a HVO100 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 vyzvednout 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
- 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

52



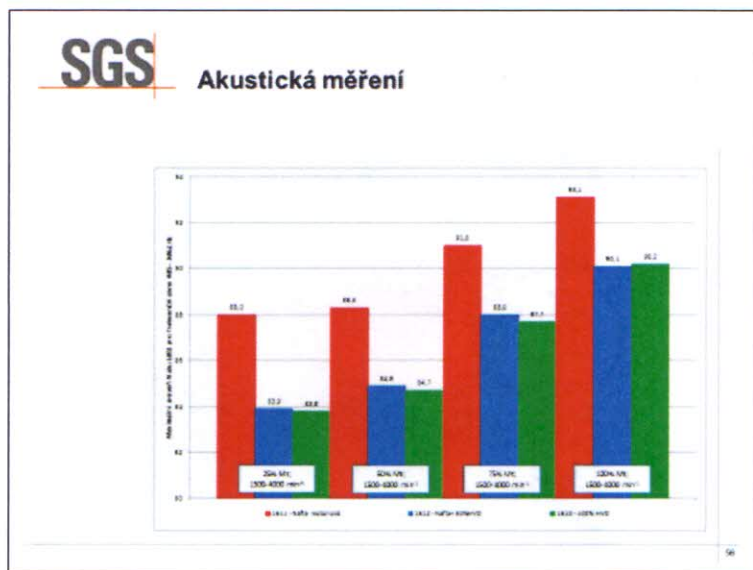
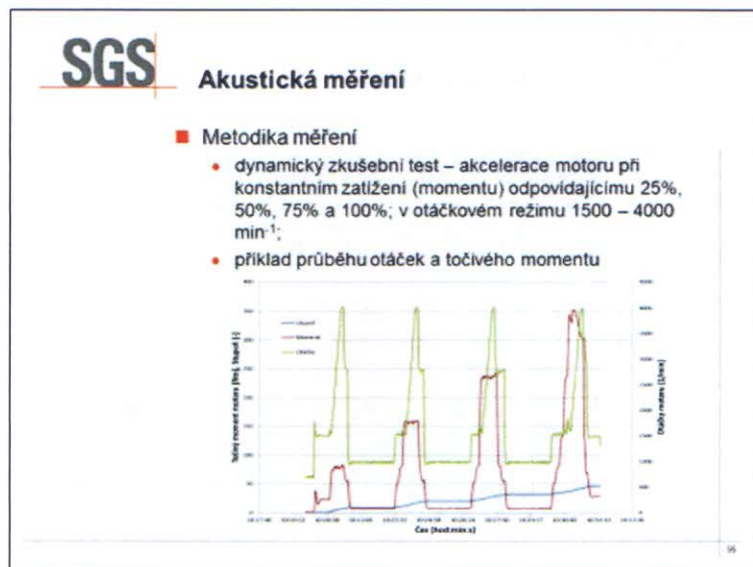
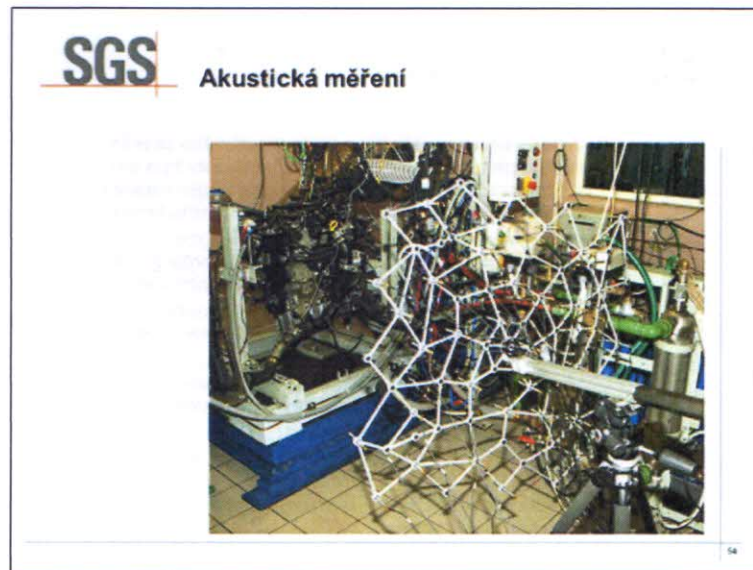
Akustická měření

■ Měřicí aparatura akustické kamery

- mikrofoni pole (osazeno 32 mikrofony), DAQ HW a SW National Instruments, SW CAE Noise Inspector) v kombinaci se záznamovým NB; sestava umožňuje synchronní záznam všech kanálů s rozlišením 24bitů, integrovaným automatickým anti-aliasingovým filtrem s vysokým odstupem signál / šum
- záznam doplněn optickou kamerou umístěnou ve středu mikrofoniho pole pro obrázek měřené scény, do něhož je posléze barevně doplněna informace o intenzitě akustického pole v daném místě; intenzita akustického pole v jednotlivých bodech scény je vypočtena ze záznamu časových průběhů akustického tlaku na jednotlivých mikrofonech prostřednictvím některého z volitelných algoritmů akustické kamery



53



SGS

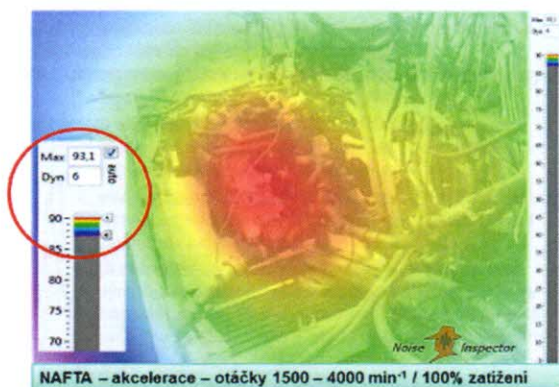
Akustická měření – shrnutí

- V rámci experimentálního popisu akustického chování motoru při spalování paliva o různém složení byla pro vyhodnocení definována metodika umožňující stanovit pro vybrané části záznamu maximální intenzitu hluku
 - z hodnot maximální intenzity zvuku, lze zejména v dynamických režimech běhu motoru předpokládat, že tento rozdíl může být dán rozdílným složením paliva
 - rozdíly byly v akceleračních režimech, při nichž je využíván požadavek vyššího cetanového čísla paliva a měření toto potvrdila
 - rozdíl 3 – 4 dB mezi motorovou naftou a palivem s 30 – 100 % přídavkem HVO je pozorovatelný ve všech režimech zatížení
 - proti předpokladům nebyl naměřen žádný rozdíl u paliv s obsahem HVO30% a HVO100%
 - při statických režimech, jsou rozdíly hodnoty intenzity zvuku zanedbatelné

57

SGS

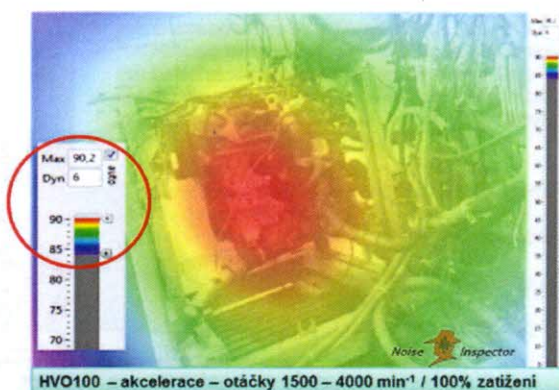
Akustická měření



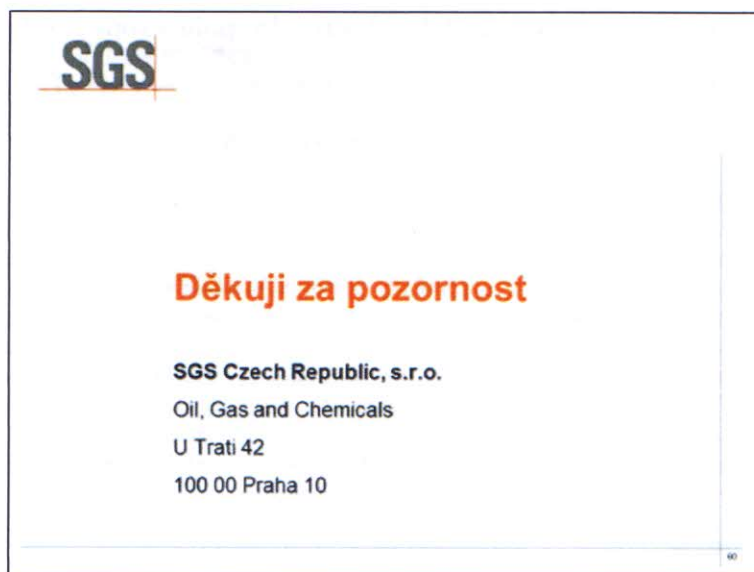
58

SGS

Akustická měření



59



Zkoušky paliva s vysokým obsahem obnovitelných parafinických složek z hydrogenační rafinace na motorech
Abstrakt:

Palivo na bázi hydrogenovaných rostlinných olejů (HVO) je jednou z možných alternativ ke klasické motorové naftě pro použití ve spalovacích motorech. Na základě publikovaných studií vlivu HVO a jeho směsí na výkonové parametry motorů a výsledkům měření sledovaných emisí výfukových plynů byla provedena měření na laboratorním jednoválcovém motoru a vznětovém motoru pro ověření těchto výsledků v porovnání se standardní naftou. Vliv HVO byl ověřen i při provozu duálního motoru.

Klíčová slova: spalovací motor, motorová nafta, hydrogenované rostlinné oleje (HVO), výkonové parametry motorů, emise výfukových plynů vznětového motoru, duální motor

Kontakt:

Ing. Ivo Krajíček - Vedoucí motorové zkušebny
SGS Czech Republic s.r.o., Oil, Gas & Chemicals
Ovčárecká 314
280 13 Kolín
mobil: + 420 731 429 191
e-mail: ivo.krajicek@sgs.com
www.sgs.com

Ing. Petr Jevič, CSc., prof. h.c.
Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. – VÚZT, v.v.i.
Drnovská 507
161 01 Praha 6
tel.: +420 233 022 302
mobil: +420 723 517 607
e-mail: petr.jevic@vuzt.cz