

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Oleje jako paliva pro vznětové motory

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Autor práce: Filip Šára

Praha 2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Filip Šára

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Oleje jako paliva pro vznětové motory

Název anglicky

Oils as fuel for diesel engines

Cíle práce

Cílem diplomové práce je vyhodnotit změnu provozních parametrů zvoleného spalovacího motoru při použití oleje a jejich směsí s motorovou naftou jako paliva.

Metodika

- 1) Úvod
- 2) Rozbor současného stavu (popis konstrukce spalovacího motoru, popis legislativy ohledně paliv, oleje jako paliva pro spalovací motor)
- 3) Cíl práce
- 4) Metodika práce
- 5) Výsledky (stanovení vhodných poměrů oleje a motorové nafty, měření provozních parametrů při zatížení dynamometrem, vyhodnocení naměřených hodnot a vzájemné porovnání paliv)
- 6) Závěr

Doporučený rozsah práce

50-60

Klíčová slova

spalovací motor, olej, motorová nafta, provozní parametry

Doporučené zdroje informací

KAMEŠ, J.: Alternativní pohony automobilů, 1. vydání, Ben, Praha, 2004, 232 s. ISBN 80-7300-127-6

LINDER, J. – HALDERMAN, J D. *Automotive fuel and emissions control systems James D. Halderman, Jim Linder*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall, 2006. ISBN 013110442.

Normy a předpisy, periodika a firemní literatura

VLK, F.: Paliva a maziva motorových vozidel, nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno, 2006, 376 s. ISBN 80-239-6461-5



Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 4. 1. 2016

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 05. 09. 2016

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Oleje jako paliva pro vznětové motory“ vypracoval samostatně, pod vedením pana doc. Ing. Martina Pexy, Ph.D. a použil jen pramenů, které jsou uvedeny v příložené bibliografii.

Jsem si vědom, že odevzdáním této práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Uvědomuji si, že má diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na tuto práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 10. 3. 2017

.....
Filip Šára

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat především vedoucímu mé diplomové práce, doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D, za poskytnuté rady a připomínky, které přispěly k dokončení této práce. Zároveň bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Mahovi a Pavlu Bartoškovi, z firmy MAHA Consulting s.r.o., za pomoc se zpracováním naměřených dat a své rodině (především manželce) za neustálou podporu a pochopení.

Abstrakt: Diplomová práce je zaměřena na oleje, které lze v určitém poměru využít jako palivo. Toto palivo je hodnoceno z pohledu výkonnosti vznětového spalovacího motoru. V teoretické části jsou popsány dnes běžně užívané palivové soustavy vznětových motorů. Tyto systémy jsou uvedeny posloupně, tak jak se vyvíjely, dále jsou u nich popsány jejich přednosti, ale také i nevýhody včetně technických parametrů, kterých dosahují. V praktické části jsou shrnuty podmínky, za kterých bylo měření provedeno a jakým způsobem byly jednotlivé hodnoty získány. Dále v této části byli popsány jednotlivé palivové směsi s uvedením hlavních naměřených parametrů na zkušební brzdě. Tyto parametry byly zpracovány formou grafického vyobrazení a postupně mezi sebou porovnávány. Na závěr bylo provedeno vyhodnocení naměřených dat vůči motorové naftě i s přihlédnutím na ekonomický aspekt jednotlivých směsí.

Klíčová slova: spalovací motor, olej, motorová nafta, provozní parametry

Oils as fuel for diesel engines

Summary: This dissertation is focused on oil, which in a specific ratio can be used as fuel. This fuel (oil) is evaluated in terms of the performance of the internal combustion-ignition engine. In the theoretical part is described how commonly are used fuel systems of diesel engines. These systems are listed sequentially, as they were developed, they are also described in their advantages or disadvantages, including technical parameters which they achieve. To summarization in the practical part, the conditions of the main measurement are made and how the individual values are obtained. In the next section were described various of individuals fuel blends, including the main parameters measured of the test in the trail brakes. These parameters were evaluated in the form of graphic presentation, and they were successively compared with each other. At the end, we did evaluation of the recorded measurement data in relation to diesel and taking into consideration the economic aspect of the individual compounds.

Key words: internal combustion engine, oil, diesel oil, operation parameters

Obsah

1. ÚVOD.....	1
2. ZÁKLADNÍ POŽADAVKY KLADENÉ NA VZNĚTOVÉ MOTORY	2
2.1 Tvorba směsi a spalování u vznětových motorů	3
2.2 Palivová soustava vznětového motoru	6
2.2.1 Nízkotlaká palivová soustava.....	7
2.2.2 Vysokotlaká palivová soustava	10
2.3 Přehled palivových soustav	11
2.3.1 Palivová soustava s řadovým vstřikovacím čerpadlem	11
2.3.2 Palivová soustava s rotačním vstřikovacím čerpadlem.....	15
2.3.3 Palivová soustava se samostatnými vstřikovacími čerpadly (PD)	20
2.3.4 Vstřikovací systém Common Rail (CR)	22
2.4 Aktuální legislativa užití biopaliv v dopravě	25
2.4.1 Evropská legislativa	25
2.4.2 Česká legislativa.....	25
3. CÍL PRÁCE.....	27
4. METODIKA	28
4.1 Měření vnější otáčkové charakteristiky (MVOCH)	29
4.1.1 Korekce na atmosférické podmínky	30
4.2 Pomůcky pro měření	31
4.2.1 Příprava zkušebny výkonu k měření.....	33
4.2.2 Příprava traktoru na měření výkonu	34
4.3 Použité palivové směsi	35
5. VÝSLEDKY	37
5.1 Grafy a základní naměřené parametry – MN.....	37
5.1.1 Graf a základní naměřené parametry MN.....	37
5.2 Grafy a základní naměřené parametry – MN a slunečnicový olej	40
5.2.1 Graf a naměřené hodnoty MN a 5% slunečnicového oleje.....	40
5.2.2 Graf a naměřené hodnoty MN a 20 % slunečnicového oleje.....	43
5.3 Grafy a základní naměřené parametry – MN, slunečnicový olej a butanol.....	46
5.3.1 Grafy a naměřené hodnoty MN, 20 % slunečnicového oleje a 10 % butanolu ..	46

5.3.2 Graf a základní naměřené parametry MN, 20 % slunečnicového oleje a 20% butanol.....	48
5.4 Porovnání všech výkonových parametrů	51
5.4.1 Ekonomický rozbor použitých směsí	56
6. ZÁVĚR.....	57

1. ÚVOD

Neustále rostoucí doprava, nejen na Evropském kontinentu, ale i v celém světě, nutí k postupnému přimíchávání biosložek do standartních pohonných hmot. Biopaliva se v ČR jako alternativní paliva uplatňují již od první poloviny 90. let minulého století. Také legislativa ukládá podíl biosložky v motorových palivech a to již od roku 2007.

Je nutné přiznat, že všechny tyto kroky jsou jen snaha co možná nejvhodněji nahradit a tím co nejvíce snížit spotřebu fosilních paliv, které s rostoucí dopravou stále více ubývají. Bohužel jejich nahrazení není tak jednoduché. Stále se nepodařilo vyvinout palivo, které by se dokázalo vyrovnat energetické hustotě a ekonomické efektivitě ropy, jejíž těžba je daleko levnější než výroba biopaliv, které nemají stejný energetický potenciál.

S přihlédnutím na trvale udržitelný rozvoj lidstva je nutné se maximálně soustředit na vývoj ekologičtějšího, ekonomičtějšího paliva, které bude moci být vyráběno z obnovitelného zdroje. Některé automobilky dnes již vyrábějí vozidla s palivovou soustavou připravenou pro užívání biopaliv. Jsou k tomu donuceni také v rámci zvyšování nároků na emisní limity výfukových plynů. Bohužel moderní vznětové motory jsou díky precizně propracované technice, která jim napomáhá snižovat spotřebu a zároveň zvyšovat výkon, náročné na kvalitu a množství biosložek obsažených v palivu.

2. ZÁKLADNÍ POŽADAVKY KLADENÉ NA VZNĚTOVÉ MOTORY

U traktorů se historicky, ale i v současnosti používají téměř výhradně vznětové čtyřdobé motory. Ve velice malé míře mohou tvořit výjimku malotraktory, které pro svůj pohon využívají podstatně menší a lehčí zážehový agregát. Kvůli rozsahu a zaměření této diplomové práce se tyto malé agregáty dále již nebudou více vyskytovat.

Na moderní vznětové motory jsou kladeny krom obecně platných požadavků, které jsou společné pro všechny dopravní prostředky, i další specifické požadavky, které vycházejí z podmínek provozu traktorových motorů.

Tab. 1 Požadavky na spalovací motory podle různých hledisek [1]

Legislativa	Zákazník	Výrobce
spotřeba paliva a emise CO ₂	spotřeba paliva	výrobní náklady
hluk	cena	nenáročnost výroby
výfukové emise	životnost	zisk
recyklovatelnost	spolehlivost	kvalita
bezpečnost	výkon	trh a konkurence
	údržba	sériovost výroby

Jsou to tyto požadavky:

- trvalý provoz při maximálním výkonu,
- práce motoru v širokém rozmezí otáček s konstantním výkonem,
- provoz při velkém kolísání zatížení,
- vysoké převýšení točivého momentu,
- nízká spotřeba v provozní oblasti motoru,
- možnost automatické regulace výkonu v závislosti na provozních parametrech motoru,
- startovatelnost při nízkých teplotách,
- vysoká životnost motoru,
- vysoká spolehlivost,
- snadná a rychlá diagnostikovatelnost poruch,
- dlouhé servisní intervaly,

- možnost využití alternativních paliv – příměsi biosložek,
- ekologičnost provozu. [1]

Rozdílnost spalovacích motorů je značná, ač základní princip funkce je stejný. A proto budou stručně popsány základní rozdíly u přípravy palivové směsi, a tím i její vhodnost či nevhodnost k použití pro spalování směsí paliv s rostlinnými oleji.

2.1 Tvorba směsi a spalování u vznětových motorů

Ve vznětovém motoru se do stlačeného horkého vzduchu ve válci vstříkují palivo, které má mít schopnost se po smíšení s horkým vzduchem samo vznítit, jen zcela výjimečně (v případě nižších teplot), je využito tepelné energie vyprodukované žhavicími svíčkami ke vznícení paliva. Již z tohoto principu vyplývá, že vznětové motory pracují s vnitřní tvorbou směsi – vnitřní spalování.

Tedy tvorba palivové směsi vznětového motoru má zcela zásadní vliv na funkci a výkonové parametry. A v této návaznosti i na další parametry odvíjející se od těchto základních podnětů, pro celý motor. Tvorba směsi výrazným podílem ovlivňuje užitečný výkon, emise výfukových plynů, spotřebu paliva a hluk vznikající spalováním. Příprava směsi u vznětového motoru je prostředkem regulace, jelikož výkon motoru je řízen kvantitativně, tedy přes obsah paliva ve směsi palivo/vzduch. Regulace je tedy prováděna pomocí změny množství vstříkovaného paliva do spalovacího prostoru. Palivo je vstříknuto v poměrně krátké době do spalovacího prostoru a to ve formě velice malých kapiček, které se pomocí intenzivního víření a vlivem vysokých teplot rychle odpaří, a po vytvoření ideálního poměru směsi se vzduchem se vznítí.

Téměř dokonalé turbulentní (intenzivní) víření vzduchu umožňuje dobrý přístup kyslíku k hořlavým složkám vstříkovaného paliva a napomáhá tak k dokonalejšímu spalování.

Tvar spalovacího prostoru se maximálně možné konstrukčně upravuje tak, aby mísení směsi bylo co nejdokonalejší. Proto se dále dělí spalovací vznětové motory podle typu spalovacího prostoru na dvě podskupiny:

- nedělené,
- dělené.

Název dělené je odvozen od faktu, že spalovací prostor je rozdělen na dvě části a to nejčastěji tak, že v hlavě válce je vytvořena zvláštní malá komůrka, která je se spalovacím prostorem propojena jedním nebo více kanálky s malou světlostí. Palivo je tedy nejprve vstříknuto do komůrky v hlavě válců. Odtud je taktéž odvozen název pro tento typ motorů (komůrkové). [2]

Výhody motorů s nepřímým vstřikováním paliva (dělený spalovací prostor)

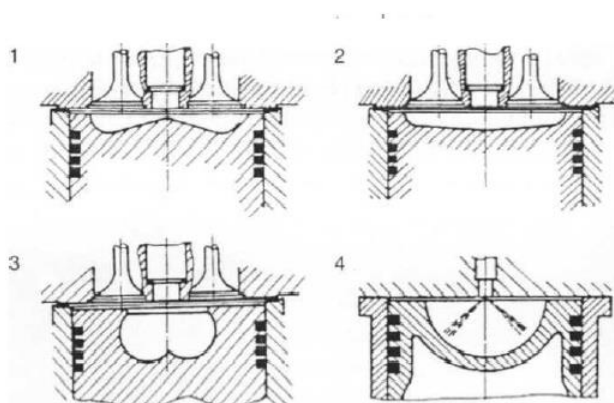
- menší nároky na vstřikovací zařízení (přesnost zpracování),
- nižší kompresní tlaky – menší namáhání klikového ústrojí.

Nevýhody motorů s nepřímým vstřikováním paliva (dělený spalovací prostor)

- složitější konstrukce hlavy válců u motorů s komůrkou,
- technologicky náročnější výroba hlavy válců,
- vyšší měrná spotřeba paliva cca 235 g/kWh,
- obtížnější starty studeného motoru, doplnění žhavicími svíčkami,
- neschopnost plnění emisních limitů.

Motory se spalovacím prostorem neděleným se vyznačují tím, že palivová směs je přivedena přímo do spalovacího prostoru válce vstřikovačem. Tím odpadá komůrka z hlavy válců. Spalovací prostor je především vytvořen ve dně pístu (viz obr. 1).

Obr. 1 Spalovací prostory motorů s přímým vstřikem paliva [1]



1. Hessmann, 2. Man, 3. Saurer, 4. polokulový

Podle způsobu vstřikování paliva do válce motoru a v souvislosti s předchozím rozdělením se motory dále dělí:

- s nepřímým vstřikem paliva,
- s přímým vstřikem paliva.

Výhody motorů s přímým vstřikováním paliva (nedělený spalovací prostor)

- jednodušší konstrukce hlavy válců,
- snadnější spouštění za nižších teplot,
- nižší měrná spotřeba paliva cca 210 až 245 g/kWh.

Nevýhody motorů s přímým vstřikováním paliva (nedělený spalovací prostor)

- větší nároky na vstřikovací zařízení – nutnost dokonalejšího rozprášení paliva (vyšší vstřikovací tlaky),
- větší vibrace,
- vyšší hlučnost,
- vyšší nároky na kvalitu a čistotu paliva,
- větší namáhání součástí pístní skupiny a klikového ústrojí,
- víceotvorové vstřikovací trysky s přesným a malým průměrem vstřikovacích otvorů.

V současné době se nejen u traktorů, ale i ve většině vznětových motorů, používají výhradně motory s přímým vstřikem. Rozhodující výhodou oproti komůrkovým motorům je nižší měrná spotřeba paliva, která je dána jednodušším a kompaktním spalovacím prostorem. A proto jsou zde výrazně menší tepelné ztráty, které jsou dány velkým a členitým povrchem spalovacího prostoru. Velký povrch je rovněž příčinou špatné startovatelnosti za nižších teplot, proto se do prostoru komůrky umísťuje žhavicí svíčka.

Bohužel jsou zde i značné nevýhody oproti motorům komůrkovým. Jako hlavní lze uvést dvě. Motory s přímým vstřikováním paliva pracují s výrazně vyššími maximálními tlaky ve spalovacím prostoru válce a tím vzniká větší namáhání součástí pístní skupiny a větší tvrdost chodu motoru. Další nevýhodou je větší nárok na kvalitu paliva z důvodu nutnosti přesnějšího rozprášení paliva ve spalovacím prostoru – z čehož vyplývá, že tyto nároky nejsou kladeny jen na palivo, ale i na výrobu jednotlivých komponent vstřikovacího

zařízení. Přesnější výroba a nutnost použití lepších materiálů, aby nedocházelo k předčasnému ukončení správné funkce.

Jak již bylo naznačeno, příprava směsi palivo vzduch výrazně ovlivňuje parametry, ekonomičnost a ekologičnost motoru. Podstatnou roli hraje nejen konstrukce motoru nebo typ přípravy směsi, ale i složení paliva.

Činitelé, které podstatně ovlivňují průběh spalování:

- začátek dodávky paliva a začátek vstřiku,
- vstřikovací tlak,
- směr a počet vstřikovaných paprsků,
- složení paliva,
- rozvíření vzduchu,
- doba a průběh vstřiku (množství paliva v závislosti na úhlu natočení klikového hřídele). [2, 27]

2.2 Palivová soustava vznětového motoru

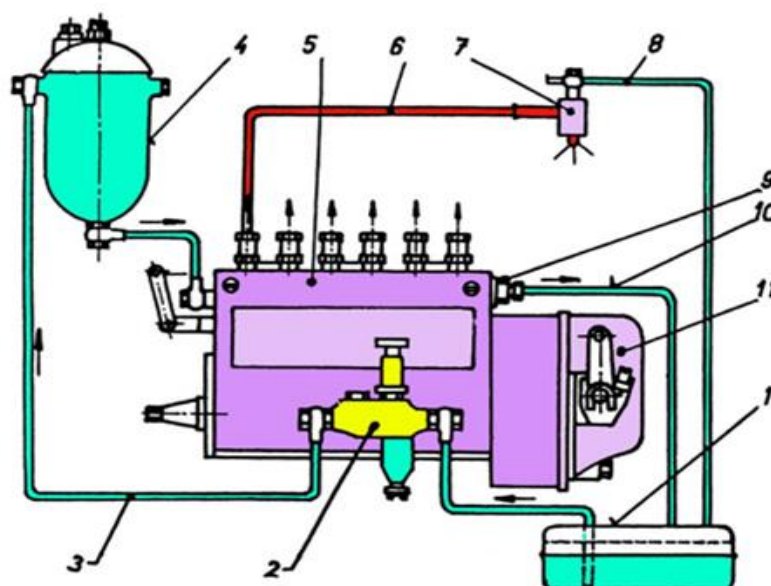
Palivová soustava nemá za úkol pouze zajistit vstříknutí paliva do spalovacího válce motoru, ale má i jiné funkce. Hlavní úkol palivové soustavy je přepravit a zároveň přefiltrovat palivo, které je odebíráno z palivové nádrže a je dodáváno do pracovního prostoru spalovacího motoru. Na správné funkci palivové soustavy se podílí mnoho více či méně technologicky složitých součástí. Dále na správné funkci palivové soustavy závisí průběh spalování ve válci motoru a tedy i dosahované výkonové parametry motoru. S výkonovými parametry motoru je samozřejmě v přímé spojitosti ekonomičnost a ekologičnost provozu motoru. Palivová soustava se dále rozděluje na nízkotlakou a vysokotlakou část. Hlavní úkol nízkotlaké části je přepravit palivo do vstřikovacího čerpadla. Tato cesta prochází soustavou různě průchozích filtrů a chladičů paliva. Skládá se z palivové nádrže, nízkotlakého obousměrného potrubí, dopravního čerpadla, chladiče paliva a čističe paliva. Dopravní čerpadlo udržuje ve výtlačné větvi ustálený tlak tak, aby vstřikovací čerpadlo mělo stále dostatek paliva.

Vysokotlaká část palivové soustavy slouží k vytvoření vysokého tlaku paliva a následné dopravě přímo ke vstříkovací trysce, kde dojde ke vstříknutí paliva do pracovního prostoru spalovacího motoru. V této době se u traktorových motorů používají palivové soustavy s řadovým vstříkovacím čerpadlem, rotačním vstříkovacím čerpadlem, se sdruženou vstříkovací jednotkou (čerpadlo – tryska), se sdruženým vstříkovacím systémem (čerpadlo-potrubí-tryska) a vstříkovací systém s tlakovým zásobníkem (lišťou).

2.2.1 Nízkotlaká palivová soustava

Úkolem systému zásobování palivem je akumulovat, filtrovat a chladit, respektive přehřívat palivo, a to pod požadovaným tlakem, a za všech provozních podmínek ho dopravovat do vstříkovacího systému. Chladič paliva je využíván výhradně u zpětného vedení palivového potrubí. Nízkotlaká soustava pracuje s přetlakem 2 – 2,5 bar (přepad 0,6 až 0,9 bar).

Obr. 2 Zjednodušená palivová soustava (celek) [32]



1. palivová nádrž, 2. podávací čerpadlo s hrubým čističem paliva, 3. palivové potrubí, 4. jemný čistič paliva, 5. vstřikovací zařízení, 6. vysokotlaké potrubí, 7. vstřikovací tryska, 8. odpadní potrubí, 9. přepouštěcí ventil, 10. odpadní potrubí, 11. regulátor.

Na zásobování palivem jsou použity především následující komponenty:

- palivová nádrž,
- předřadný filtr,
- palivový filtr,
- chladič paliva (zpětné vedení),
- podávací čerpadlo,
- regulační tlakový ventil (přepouštěcí tlakový ventil),
- chladič řídicí jednotky (zvláštní výbava),
- nízkotlaké palivové vedení,
- palivové čerpadlo.

2.2.1.1 Komponenty užívané při dopravě paliva v nízkotlaké soustavě

Palivový filtr – jednou z hlavních úloh palivového filtru je snížení znečištění paliva pevnými částicemi. Tím jsou chráněny komponenty vstřikovacího systému vystavené opotřebení. Každý vstřikovací systém vyžaduje určitou jemnost a průchodnost palivového filtru. Kromě zajištění ochrany proti opotřebení musí palivový filtr vykazovat dostatečnou kapacitu pro ukládání pevných částic, jinak může dojít k předčasnému ucpání ještě před termínem servisní výměny. Pro nové systémy je podle použití (provozní podmínky, životnost motoru, složení paliva, stupeň znečištění paliva) nutný stupeň účinnosti odlučování mezi 65 a 98,6 % (velikost zachycených pevných částic 3 až 5 um). Druhou funkcí palivového filtru je odlučování emulgované a volné vody z paliva, aby se zabránilo poškození korozi.

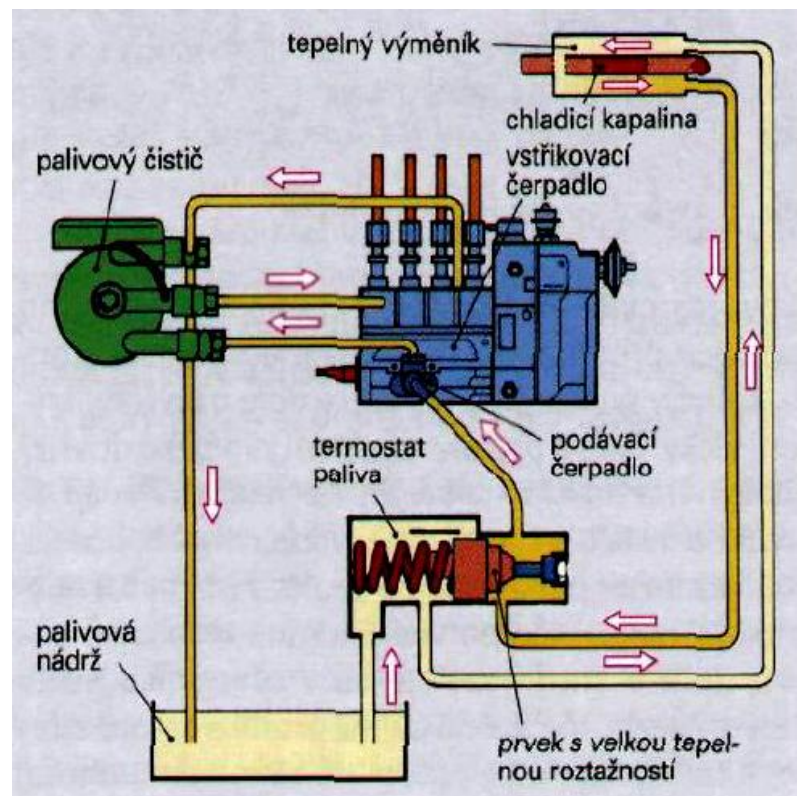
Účinné odlučování vody vyšší než 93 % při maximálním průtoku (norma ISO 4020:2001) je velice důležité, hlavně u rotačních vstřikovacích čerpadel a palivových systémů Common Rail. [3; 4; 27]

Používané čističe paliva:

- vinutá čistící vložka,
- hvězdicová filtrační vložka,
- komorový čistič,
- palivový komorový čistič se zásobníkem vody,
- dvojitý komorový čistič se zásobníkem vody.

Přehřívací zařízení paliva – jsou nejčastěji do palivové soustavy montovány bezprostředně před čističem paliva a to aby se zabránilo ucpání čistící vložky vylučováním parafínu při nízkých teplotách. Parafín obsažený v motorové naftě se vylučuje již od teploty paliva pod cca 4 °C a to jako voskovité šupinky, které mohou ucpat jemné filtrační póry filtru. Aby bylo tomuto předejito, je vhodné palivo přehřívát, k čemuž je využíván výměník tepla, který je ovládán termostatem (viz obr. 3). [27]

Obr. 3 Přehřívání paliva tepelným výměníkem z okruhu chladicí soustavy



Pro předehřívání motorové nafty se rovněž používají elektrické topné prvky, například elektrická dečka mezi víkem čističe a filtrační komorou. Nejčastěji se k tomuto účelu využívají samočinně se regulující rezistory s negativním teplotním součinitelem. Předehřívání paliva se zapíná automaticky a to za pomoci termospínače při teplotě pod + 5 °C.

Palivové potrubí – pro nízkotlakou část mohou být kromě kovových trubek použita také pružná vedení se ztíženou hořlavostí opatřená oplétanou kovovou výztuží. Potrubí musí být provedeno tak, aby bylo zabráněno mechanickému poškození a aby se odkapávající nebo vypařující se palivo nemohlo shromažďovat ani vznítit. Palivové potrubí musí být také po chemické stránce velice odolné, aby dokázalo odolávat různým příměsím, které jsou do dnešních paliv ze zákona přidávána. Palivová potrubí nesmí být ve své funkci ovlivňována zkroucením konstrukce vozidla. Všechny komponenty, které slouží k vedení paliva, musí být chráněny proti teplu vznikajícímu během provozu. Palivo nesmí být dopravováno samospádem. [3; 4]

2.2.2 Vysokotlaká palivová soustava

Úkolem vysokotlaké části je připravit správné množství paliva ve správném přetlaku a dopravit jej do vstřikovací trysky. Vysokotlaká část dosahuje hodnoty přetlaku až 2500 bar. Komponenty použité u vysokotlaké části jsou velice rozdílné a to již podle zmíněného typu (čerpadla).

Na vysokotlaké části jsou použity především následující komponenty:

- regulátor tlaku,
- vysokotlaké vedení – ocelové bezešvé,
- palivové vstřikovače,
- chladič paliva – systém Common Rail,
- vysokotlaký zásobník (lišta),
- regulační tlakový ventil (přepouštěcí tlakový ventil),
- vysokotlaké vstřikovací čerpadlo (řadové, rotační). [3; 4]

2.3 Přehled palivových soustav

Díky postupné evoluci spalovacích motorů vzniklo více možností přípravy plnění válců palivovou směsí. Tento vývoj jde přirozeně s dobou a to díky rostoucím požadavkům a nárokům uživatelů, ale také i výrobců motorů a v neposlední řadě díky rafinérským společnostem. Díky těmto změnám jsou dnešní motory mnohem šetrnější nejen k ovzduší a tím i k přírodě ale i ke zdrojům ropy, které se neúprosně tenčí. Je tedy třeba v tomto trendu neustále usilovně pokračovat a tím se snažit najít optimální technické vybavení motoru pro optimální směs obnovitelných paliv s podmínkou dodržení uživatelské přívětivosti.

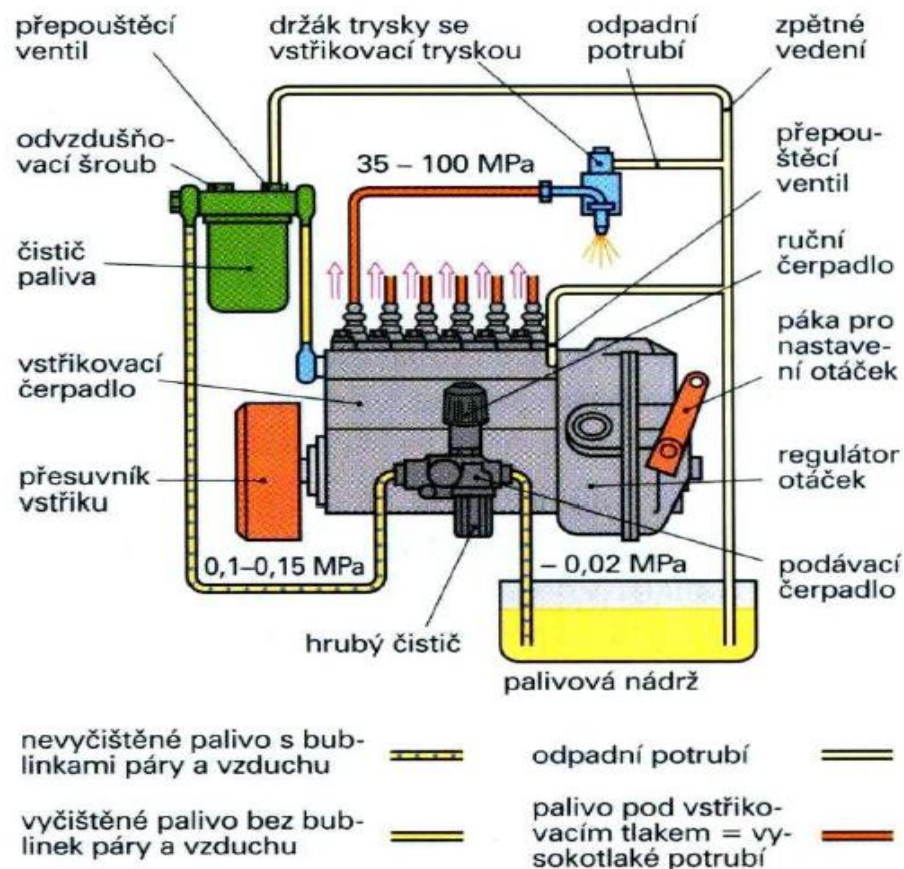
Doposud známé a využívané palivové systémy u vznětových motorů jsou:

- s řadovým vstřikovacím čerpadlem,
- s rotačním čerpadlem s axiálním pístem,
- s rotačním čerpadlem s radiálními písty,
- se sdruženým vstřikovacím systémem (PD),
- se systémem Common Rail.

2.3.1 Palivová soustava s řadovým vstřikovacím čerpadlem

U palivové soustavy s řadovým čerpadlem (viz obr. 4) je palivo nasáváno dopravním čerpadlem z palivové nádrže, dále pak tlačeno přes palivový čistič do vstřikovacího čerpadla.

Obr. 4 Palivová soustava s řadovým vstřikovacím čerpadlem [31]



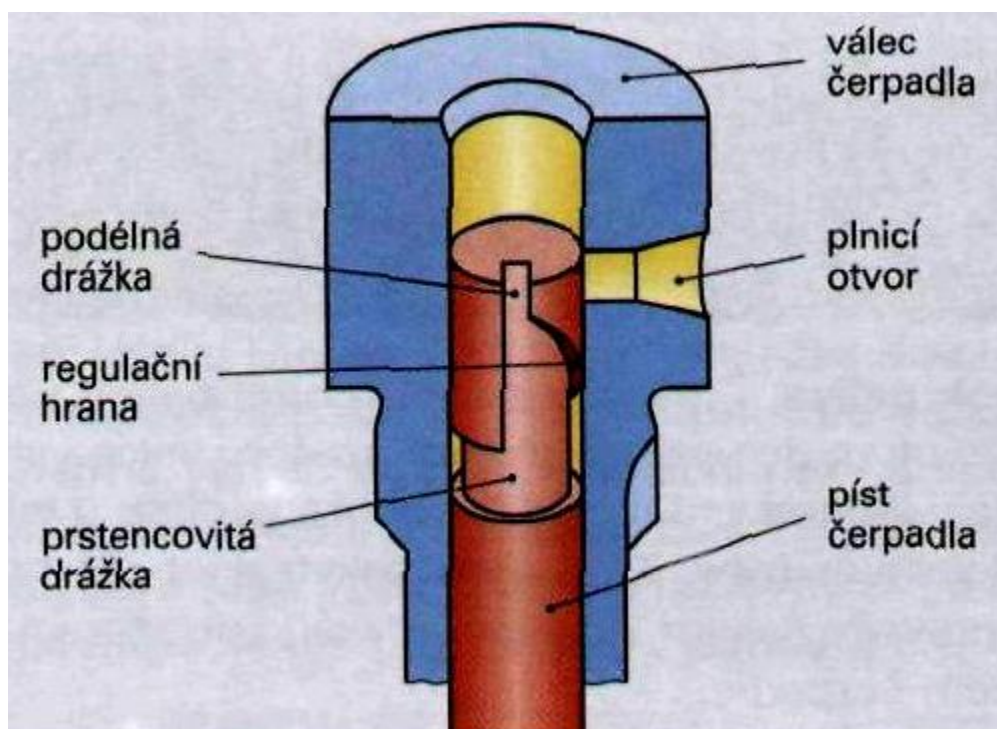
Tlak za dopravním čerpadlem se pohybuje od 0,1 MPa do 0,2 MPa. Tlaková část je vedena ze vstřikovacího čerpadla vysokotlakým ocelovým potrubím k jednotlivým vstřikovačům. Část paliva je vstříknuta do pracovního prostoru motoru a zbytek paliva je veden přeplavovým potrubím zpět do nádrže. Tento zbytek zajišťuje dostatečné chlazení mechanického čerpadla, čímž se zabraňuje přehřátí a odpaření paliva. Vstřikovače jsou umístěny v hlavě motoru a vstříkují palivo pod tlakem do spalovacího prostoru. Palivo, které se vlivem netěsnosti dostane okolo jehly do horní části vstřikovače, je vráceno přeplavovým potrubím zpět do nádrže paliva.

Pro přepravu paliva v nízkotlaké části se nejčastěji používá pístové čerpadlo poháněné mechanicky vačkou, které je nejčastěji umístěno na boku čerpadla. V některých případech může být použito čerpadlo elektrické a bývá umístěné v palivové nádrži na sacím koši. Součástí mechanického čerpadla je také ruční pumpa, využívaná pro odvzdušnění

palivové soustavy, například při výměně palivového filtru anebo v případě, že dojde k vyčerpání paliva z nádrže. Součástí sacího koše v nádrži bývá hrubý filtr, který je umístěn před podávacím čerpadlem a slouží k zachycení větších nečistot obsažených v palivu a v nádrži. Tento filtr bývá vyroben z plastu, nebo z jemného pletiva, popřípadě z mosazných drátů. Mezi dopravním (podávacím) čerpadlem a řadovým vstřikovacím je umístěn jemný čistič paliva s výměnnou vložkou, nejčastěji v podání papírové vložky. Mimo filtrace má jemný čistič ještě funkci odlučovače vody, která se do paliva dostává při tankování nebo při změně teplot (kondenzaci) v nádrži.

Řadová vstřikovací čerpadla (viz obr. 5) mají pro každý pracovní válec motoru vždy jeden element čerpadla, který se skládá s pístu čerpadla a válce čerpadla (monobloku).

Obr. 5 Jednotka řadového vstřikovacího čerpadla [30]



Píst čerpadla se pohybuje ve směru dodávky paliva pomocí vačkové hřídele. Vačková hřídel je poháněna od rozvodů motoru. Zpětný pohyb pístu je zaručen díky pomocné pružině.

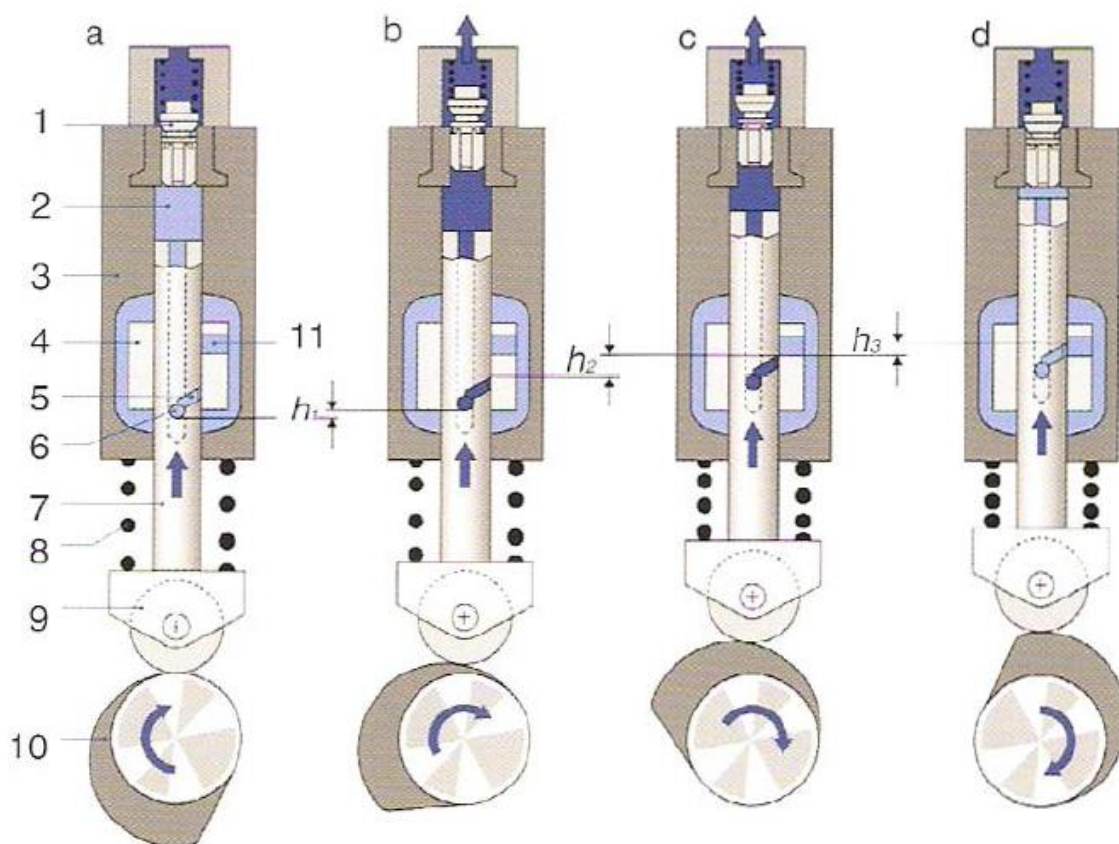
Písty (elementy) v čerpadle jsou uspořádány v řadě, z čehož je odvozen vlastní název čerpadla. Zdvih pístu není proměnlivý, je omezen vačkou. Pro změnu dodávky paliva je určena šikmá spodní řídicí hrana pístu. Takže provozní režim spalovacího motoru lze ovládat pootočením pístu, prostřednictvím posuvné regulační hřebenové tyče. Hřebenová regulační tyč umožňuje měnit užitečný zdvih pístu a tedy i vstřikovaný objem paliva na jeden zdvih. Mezi vysokotlakým prostorem čerpadla a začátkem vstřikovacího vedení jsou podle podmínek vstřiku umístěny výtlačné (přepouštěcí) ventily. Tyto ventily určují přesnou dobu ukončení vstřiku, zamezují dostřik u vstřikovacích trysek a zajišťují rovnoměrné pole charakteristiky čerpadla. Velikost vstřikovacích tlaků působících na vstřikovače dosahuje hodnoty až 135 (150) MPa. Řadová vstřikovací čerpadla se vyrábějí ve dvou specifikacích, jako standardní a se zdvihovým šoupátkem. [1; 2]

Počátek dodávky u standardního vstřikovacího čerpadla je určen polohou plnicího otvoru, který je uzavřen horní hranou pístu. Šikmá spodní řídicí hrana pístu uvolňuje sací otvor, a tím zajišťuje vstřikovací dávku. Pomocí regulační tyče se píst natáčí a tím se mění okamžik otevření sacího otvoru spodní hranou pístu.

Mění se tak užitečný zdvih, což je vlastní dráha pístu, po kterou je palivo vytlačováno z válce řadového vstřikovacího čerpadla. Natočení pístu je konáno prostřednictvím regulačního pouzdra s ozubeným pastorkem, který zapadá do ozubení hřebenové regulační tyče. Polohu regulační tyče u traktorových vznětových motorů řídí elektronický regulátor nebo mechanický odstředivý regulátor.

Vstřikovací čerpadlo se zdvihovými šoupátky se od standardního vstřikovacího čerpadla liší použitím zdvihových šoupátek kluzně uložených na pístech. Pomocí šoupátka lze měnit úvodní zdvih a tedy i vlastní počátek dodávky paliva do válce. Palivo je nad píst nasáváno přes kanálek v pístu. Spodní hranou šoupátka je kanálek uzavírán. Užitečný zdvih pístu je měněn jako u standardního vstřikovacího čerpadla pootočením pístu. Přestavení polohy šoupátka se děje pomocí přídatného ovládacího hřídele a nastavuje se v závislosti na různých hodnotách. Řadová vstřikovací čerpadla mají tedy oproti rotačním výhodu a to v dalším stupni volnosti. Mohou tedy měnit počátek dodávky paliva (viz obr. 6).

Obr. 6 Schéma elementu čerpadla se zdvihovým šoupátkem [9]



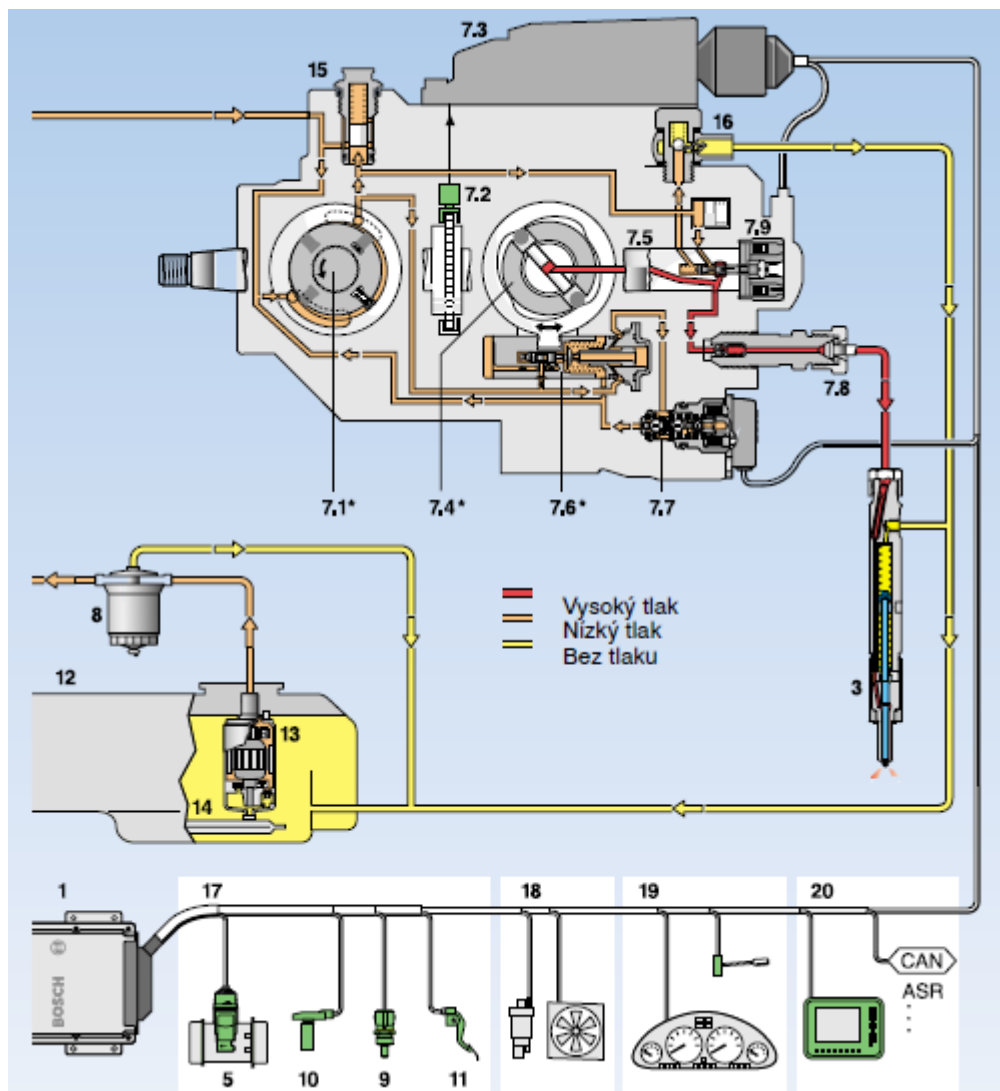
1. zpětný ventil, 2. prostor nad pístem, 3. válec čerpadla, 4. zdvihové šoupátko, 5. řídicí hrana (pístu), 6. řídicí otvor počátku dodávky, 7. píst čerpadla, 8. vratná pružina pístu, 9. kladička, 10. hnací vačka, 11. sací otvor
 h_1 – zdvih před počátkem dodávky, h_2 – užitečný zdvih, h_3 – zdvih po ukončení dodávky

2.3.2 Palivová soustava s rotačním vstřikovacím čerpadlem

System s rotačním vstřikovacím čerpadlem je také vybaven dvěma větvemi palivového vedení. Pro přísun paliva v nízkotlaké větvi jsou použita nejčastěji dvě čerpadla. Jedno čerpadlo bývá zubové a o pohon se stará elektromotor, v případě druhého čerpadla se jedná o lopátkové čerpadlo s pohonem taktéž elektrickým, které je již součástí rotačního vstřikovacího čerpadla. Zbylé komponenty na nízkotlaké větvi jako filtry, chladiče, přehřevy, palivové vedení jsou již obdobné konstrukce jako u předešlých systémů (s řadovým vstřikovacím čerpadlem). Oproti řadovým vstřikovacím čerpadlům mají rotační

vstříkovací čerpadla pouze jeden výtlačný element pro všechny válce motoru a pomocí rozdělovací hlavy je palivo rozdělováno k jednotlivým vstříkovačům umístěných v hlavě válce motoru. Díky konstrukci výtlačného elementu lze rotační čerpadla rozdělit obdobně jako u řadových vstříkovacích čerpadel, na dva druhy a to rotační čerpadlo s axiálním pístem a rotační čerpadlo s radiálními písty. Díky rotačnímu čerpadlu je možné plnit vyšší emisní limity, než bylo možné plnit s řadovým rotačním čerpadlem a je to dosaženo vyšším vstříkovacím tlakem až 160 MPa. [1]

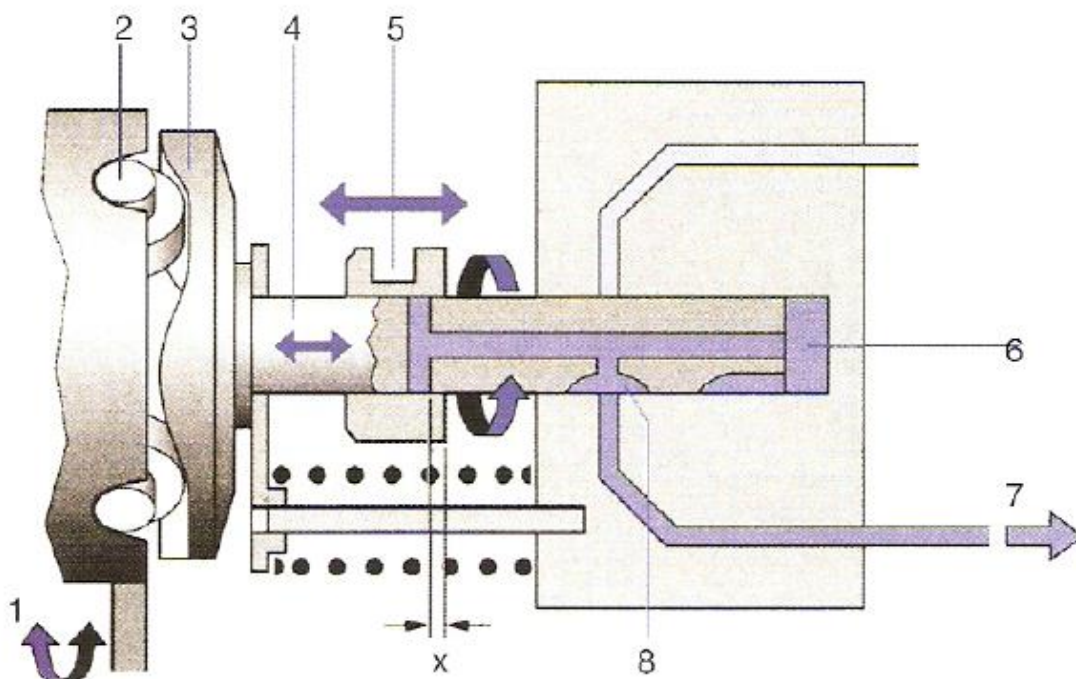
Obr. 7 Rotační vstříkovací čerpadlo (radiální) s elektronickou regulací (EDC) [10]



1. řídicí jednotka motoru, 3. vstřikovací trysky, 5. měření hmotnosti vzduchu, 7,1 křídlové dopravní čerpadlo, 7,2 snímač úhlu otočení, 7,3 řídicí jednotka čerpadla, 7,4 vysokotlaké čerpadlo s radiálními písty, 7,5 rozdělovací hlava s rozdělovacím hřídelem, 7,6 přesuvník vstřiku, 7,7 elektromagnetický ventil přesuvníku vstřiku, 7,8 výstupní ventil, 8. palivový filtr, 9. snímač teploty chladicí kapaliny, 10. snímač otáček klikového hřídele, 11. snímač pedálu akcelerace, 12. palivová nádrž, 13. elektrické palivové čerpadlo, 14. hrubý filtr, 15. ventil pro regulaci tlaku, 16. přepouštěcí ventil, 17. příklad snímače a čidel požadované hodnoty, 18. příklad akčních členů, 19. příklad ovládacích a indikačních členů, 20. rozhraní

U rotačních vstřikovacích čerpadel (viz obr. 7) se o přepravu paliva do skříně čerpadla stará nejčastěji lopatkové čerpadlo, které je součástí vstřikovacího čerpadla.

Obr. 8 Rotační vstřikovací čerpadlo s axiálním pístem [9]

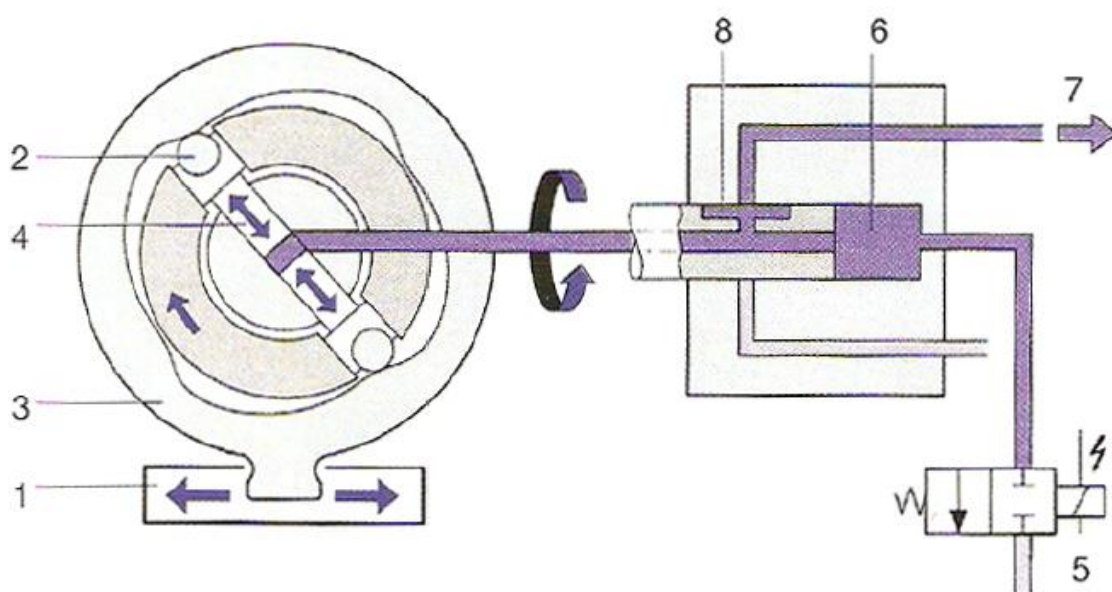


1. dráha přesuvníku vstřiku na unašeci s kladkami, 2. kladka, 3. axiální vačka, 4. axiální píst, 5. regulační šoupátko, 6. vysokotlaký prostor, 7. přítok paliva k vstřikovací trysce, 8. řídicí drážka, x. využitelný zdvih

Centrálně uložený rotační píst vstřikovacího čerpadla, který se otáčí spolu s vačkovým hřídelem (kotoučem), vytváří tlak a rozděluje palivo k jednotlivým válcům. Za jedinou otáčku hřídele pohonu vykoná píst tolik zdvihů, kolika válcům v motoru musí dodat potřebné palivo. Vačkový kotouč se odvaluje po kladkovém prstenci, čímž si zajišťuje nejen rotaci ale také i zdvih pístu. Rozváděcí drážky a kanálky v pístu a ve válci čerpadla zajišťují při rotačním pohybu pístu přivedení tlakového paliva přes rozdělovací hlavu a vysokotlaké potrubí k jednotlivým válcům motoru. U rotačního čerpadla s mechanickým odstředivým či elektronickým regulátorem je dodávka paliva nastavována pomocí regulačního šoupátka na pístu ovládaném regulátorem otáček. Konec dávky paliva se nastavuje šoupátkem (užitný zdvih pístu X (viz obr.8)). Pootočením prstence s kladkami a přesuvníkem vstřiku lze nastavit počátek dodávky paliva. U čerpadla s axiálním pístem ovládaného elektromagnetickým ventilem dávkuje elektronicky řízený vysokotlaký elektromagnetický ventil vstřikovanou dávku místo regulačního šoupátka. Regulační a řídicí povely jsou zpracovávány ve dvou elektronických řídicích jednotkách (EDC a vstřikovacího čerpadla). [5]

U rotačního vstřikovacího čerpadla s radiálními písty (viz obr. 9) se o přepravu paliva stejně jako u čerpadla s axiálním pístem stará nejběžněji lopatkové čerpadlo, které je rovněž součástí vstřikovacího čerpadla.

Obr. 9 Rotační vstřikovací čerpadlo s radiálními písty [9]



1. dráha přesuvníku vstřiku na unašeči s kladkami, 2. váleček, 3. vačkový prstenec, 4. radiální píst, 5. vysokotlaký elektromagnetický ventil, 6. vysokotlaký prostor, 7. přítok paliva k vstřikovací trysce, 8. řídicí drážka

Místo axiální vačky u čerpadel s axiálním pístem přebírají funkci vytváření vysokého tlaku radiální písty. Čerpadlo se skládá z vačkového prstence se dvěma až čtyřmi radiálními písty. Při otočení rotoru s písty se ve vačkovém prstenci posouvají vačky a tím se posouvají písty proti sobě. Palivo je z prostoru nad písty vytlačováno přes rotační rozvaděč s řídicí drážkou, kterým je přiváděno přes vysokotlaké potrubí k jednotlivým válcům motoru. Elektromagnetický vysokotlaký ventil, spojený s vysokotlakým prostorem nad pístem čerpadla, dávkuje odměřené vstřikované množství. Pootočením vačkového kroužku prostřednictvím přesuvníku vstřiku se přestavuje počátek dodávky paliva. Regulační a řídicí signály pro nastavení vstřikovaného množství paliva tvoří stejně, jako u rotačního čerpadla s axiálním pístem, řídicí jednotka čerpadla a motoru. U dřívějších konstrukcích těchto čerpadel byla používána regulace dávky škrcením na sací větvi čerpadla.

2.3.2.1 Vstřikovací systém EDC

Electronic Diesel Control (EDC) – elektronicky řízený proces vstřikování paliva. Tento důmyslný systém řídí plně elektronicky pomocí řídicí jednotky vstřikovacího čerpadla. Důležité vstupní informace o stavu motoru (teplota motoru atd.) a požadavcích řidiče (akcelerace atd.) získává řídicí jednotka ze snímačů, které jsou instalovány na pohonné jednotce nebo na rámu traktoru. Procesy vstřikování paliva jsou řízeny pomocí akčních členů. Druhy, počty členů jsou závislé na použitém systému vstřikování daného motoru.

Rozdělují se do dvou skupin:

1. Systém s řídicí hranou – do tohoto segmentu patří řadová vstřikovací čerpadla EDC a rotační axiální vstřikovací čerpadla EDC (VE).

2. Systémy řízené elektromagnetickými ventily – do tohoto segmentu patří rotační vstřikovací čerpadla s radiálními písty, systém čerpadlo tryska (PD) a v neposlední řadě systém Common Rail.

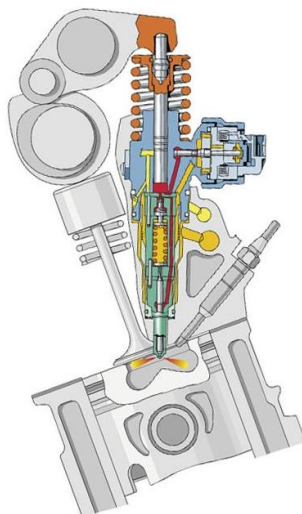
2.3.3 Palivová soustava se samostatnými vstřikovacími čerpadly (PD)

Tento systém je diametrálně odlišný oproti dvěma zmíněným. Zde je čerpadlo v těle vstřikovače současně s tryskou a tím pádem musí být každý válec motoru vybaven vlastním čerpadlem s vstřikovací jednotkou. Tyto jednotky nejsou vybaveny vlastním vačkovým hřídelem. Hnací vačka pro všechny vstřikovací jednotky je poháněna od rozvodového mechanismu motoru a je shodná pro ovládání ventilů (sacích/výfukových) motoru.

2.3.3.1 UIS (Unit Injektor System)

Sdružená vstřikovací jednotka je často také nazývána jako jednotka čerpadlo – tryska, anebo v němčině jako Pumpe Düse (PD). Píst čerpadla je poháněn buď přímo přes zdvihátko, nebo nepřímo přes vahadlo od vačkového hřídele motoru. Jelikož není použito žádné vysokotlaké potrubí a palivo je vedeno vstřikovací lištou přímo k trysce, je možné dosáhnout podstatně vyššího vstřikovacího tlaku (100 až 200 MPa) než u klasických rotačních vstřikovacích čerpadel. Řídící jednotka motoru vypočte přesné množství vstřikovaného paliva a rozhoduje o otevření a uzavření vysokotlakého elektromagnetického ventilu. Díky přesné elektronické regulaci s polem charakteristik a dávek vysokého vstřikovacího tlaku lze dosáhnout velkého snížení emisí škodlivých látek vznikajících ve vznětovém motoru. (viz obr.10)

Obr. 10 Čerpadlo tryska v hlavě válce [8]



Oranžová – přívod paliva, žlutá – vratné vedení

2.3.3.2 Sdružený vstřikovací systém – UPS

Unit Pump Systém (UPS) – sdružený vstřikovací systém (viz obr. 11) je také česky nazýván systém čerpadlo – vedení – tryska a pracuje na shodném principu jako systém čerpadlo – tryska. Rozdílem, kterým se liší, od systému čerpadlo tryska je, že těleso vstřikovače je propojeno s jednotkou vstřikovacího čerpadla krátkým vysokotlakým potrubím, které je přesně uzpůsobeno k jednotlivým komponentům jednotky. Vstřikovací čerpadlo je namontováno na boku bloku motoru a je poháněno vačkou na opačné straně motoru myšleno od rozvodového mechanismu. I zde u systému UPS je doba počátku vstřiku regulována plně elektronicky, pomocí rychle spínaného elektromagnetického (solenoidu) ventilu. U starších konstrukcí traktorových motorů s tímto vstřikovacím systémem je jednotka vstřikovacího čerpadla stejné konstrukce jako u vstřikovacích čerpadel řadových s natočením pístu pomocí regulační tyče ovládané regulátorem. Základní nastavení stejné dodávky paliva na všech válcích motoru se pak dosáhne pootočením válce čerpadla přímo na motoru. [1]

UIS a UPS, oba dva systémy, se neobejdou bez podávacího čerpadla umístěného v nádrži. Dále oba systémy využívají služby pomocného nízkotlakého čerpadla poháněného od zmíněného vačkového hřídele. Oba systémy dosahují vysokého tlaku pomocí vačkového hřídele, ale bohužel nedokážou se dobře uzpůsobit dnešním potřebám pro odstranění pevných částic z výfukových plynů a to pomocí filtru pevných částic.

Obr. 11 UPS – sdružený vstříkovací systém [7]



2.3.4 Vstříkovací systém Common Rail (CR)

Posledním a nejmodernějším popisovaným systémem je vstříkovací systém s tlakovým zásobníkem (CR). Tento systém je díky svým vlastnostem nejvíce využíván v poslední době v automobilovém průmyslu. U tohoto systému je vytvářen vstříkovací tlak vysokotlakým čerpadlem a to nezávisle na provozním režimu motoru (na otáčkách motoru) a zároveň na vstříkovací dávce. Vysokotlaké čerpadlo zásobuje vysokotlaký zásobník (Rail), ze kterého je palivo dodáváno do jednotlivých vstříkovačů. Samotné vstříkování je tedy ovládáno vstříkovačem prostřednictvím piezoelektrického nebo elektromagnetického ventilu. Obrovské přednosti má tento systém v možnosti téměř neomezeného vstříkování jak množství, tak počtu vstříků v různých režimech motoru (např. během vypalování filtru

pevných částic). Díky tlakovému zásobníku mají vstřikovače dostatečné množství a tlak paliva stále k dispozici. Vstřikování je ovládané plně elektronicky díky EDC.

Common Rail je konstruován a vytvářen jako modulární systém. Díky rozsáhlé řadě jednotlivých dílčích komponentů je umožněno systém přizpůsobit jakémukoli motoru.

Systém je tvořen především z těchto skupin:

- nízkotlaká část (přivádí palivo z nádrže),
- vysokotlaká část (vysokotlaké čerpadlo, zásobník – Rail, vysokotlaké vedené a vstřikovače paliva),
- EDC (Electronic Diesel Control – Elektronické řízení vznětového motoru). [3; 5]

Obr. 12 Základní komponenty systému Common Rail [6]



Vysokotlaká čerpadla pracují s tlaky od 110 MPa až do 250 MPa (Delphi udává dokonce až 300 MPa). Tento tlak udržuje v zásobníku, v závislosti na otáčkách motoru. V případě, že je zapotřebí plný výkon motoru, musí otáčky motoru přesáhnout 3000 ot/min, v tu chvíli se nachází v Railu maximální provozní tlak – tento systém je tedy schopný se přizpůsobit momentálním provozním potřebám motoru a to ve velice krátkém časovém

horizontu. Vstřikovače jsou připojeny k zásobníku vysokotlakým krátkým vedením a dokážou během jednoho pracovního cyklu provést 3 až 8 vstřiků, podle aktuální potřeby. [3; 23]

Výhody tohoto systému jsou především:

- vysoce efektivní vstřikování paliva,
- proměnlivá časová vzdálenost mezi jednotlivými vstřiky paliva,
- proměnlivá délka vstřiku paliva,
- změny provozních režimů bez poklesu výkonu motoru,
- nižší emise,
- klidnější a tišší chod motoru (hlukové emise),
- menší namáhání motorových rozvodů díky vysokotlakému čerpadlu,
- vyšší výkon,
- nižší spotřeba.

Bohužel tento systém doplácí na svou propracovanost a dá se říci i technickou dokonalost. Jelikož pracuje s vysokými tlaky, tak veškeré komponenty musejí být velmi odolné a dobře opracované. Jakékoliv znečištění v palivu dokáže celý systém vyřadit z funkce. Největší škody dokáže napáchat palivo, které má špatné mazací schopnosti, dále špatné antikorozi schopnosti. Popřípadě palivo, které v sobě obsahuje i drobné molekuly vody. Proto tento systém není zcela vhodný pro různé palivové směsi, nýbrž pouze pro čistou motorovou naftu. [22]

2.4 Aktuální legislativa užití biopaliv v dopravě

Většina tuzemské legislativy se řídí závaznými směnicemi evropské unie. Nejprve tedy budou stručně uvedeny evropské směrnice.

2.4.1 Evropská legislativa

Směrnice 2009/28/ES a směrnice 2009/30/ES – jsou zpracovány do tuzemské legislativy jako Zákon o pohonných hmotách a Zákon o ochraně ovzduší. Obě tyto směrnice jsou vzájemně provázané a významně se dotýkají uplatňování biopaliv ve směsích s klasickými fosilními palivy nebo čistými biopalivy v dopravě a to včetně přesně definovanými cíli do roku 2020. Účinnost obou směrnic nastala 1.1.2011, ač byly obě schváleny 23.4.2009. Aplikace cílů uvedených ve směrnících jsou závazné. Směrnice obsahují především povinnosti pro výrobce paliv a to ve směru ke snížení produkce emisí skleníkových plynů vzniklých nepřímou změnou ve využití půdy. Jsou tedy zaměřeny na ILUC faktor (ILUC – Indirect Land Use Change).

Cíle těchto směrnic jsou především:

- omezení příspěvku biopaliv vyrobených z potravinářské biomasy na 6 % e/e a povinný přídavek vyzpělých biopaliv na úrovni 2 % e/e,
- zvýšená podpora využívání vyzpělých biopaliv druhé a třetí generace + biopaliva s nízkou hodnotou ILUC,
- zvýšení úspor emisí skleníkových plynů u nově budovaných zařízení sloužících na výrobu biopaliv,
- transparentnost vykazování emisí tak, že státy Evropské Unie zahrnou do zpráv i odhadované hodnoty ILUC ,
- zvýhodnění biopaliv s nízkým ILUC faktorem. [11; 12]

2.4.2 Česká legislativa

Zákon o pohonných hmotách a čerpacích stanicích č. 311/2006 Sb. V tomto zákoně jsou uvedeny nutné podmínky pro distribuci a prodej paliv, prodej a výdej PHM, evidence čerpacích stanic. Vyhláška o jakosti a evidenci PHM č. 133/2010 Sb. přesně definuje jednotlivé pohonné hmoty, jejich ukazatele jakosti a způsob vyhodnocení složení a jakosti PHM. Dále se touto problematikou zabývá zákon o spotřebních daních č. 353/2003 Sb., který

stanovuje podmínky možnosti úlev od daní a dále ukládá daňové zatížení na jednotlivá paliva. Dále se v oblasti PHM nachází zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb., kde je již patrné z názvu tohoto zákona, že hlavním zájmem jsou vzniklé emise díky spalování PHM. V neposlední řadě se tohoto tématu také dotýká zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích č. 56/2001 Sb., kde je potřeba zmínit §77 odstavec 2 – „*K pohonu motoru vozidla a k plnění mazacích, chladících a jiných systémů a zařízení vozidla lze používat pouze pohonné hmoty a provozní hmoty předepsané výrobcem tohoto motoru, systému nebo zařízení, nebo výrobcem vozidla. Provozní hmoty používané v provozu silničních motorových vozidel musí svou jakostí splňovat požadavky stanovené zvláštními právními předpisy a českými technickými normami.*“ [13; 14; 15; 16; 17]

V oblasti týkající se PHM pro vznětové motory je třeba ještě uvést tyto normy:

- ČSN EN 590 Motorová paliva – Motorové nafty,
- ČSN 65 6516 – Motorová paliva – Řepkový olej pro spalovací motory na rostlinné oleje,
- ČSN 65 6508 Motorová paliva – Směsné motorové nafty obsahující methylestery mastných kyselin (FAME),
- ČSN EN 14214+A1 Kapalné ropné výrobky – Metylestery mastných kyselin (FAME) pro vznětové motory a topné oleje. [18; 19; 20; 21]

3. CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je vyhodnotit změnu provozních parametrů traktorového motoru při použití rostlinného oleje a směsí motorové nafty s rostlinnými oleji. Tohoto obecného cíle bude dosaženo prostřednictvím:

- měření vnější otáčkové charakteristiky (MVOCH) – 100 % motorová nafta jako etalon,
- měření vnější otáčkové charakteristiky (MVOCH) – motorová nafta + 5 % a 20 % slunečnicového oleje,
- měření vnější otáčkové charakteristiky (MVOCH) – motorová nafta + 20 % slunečnicového oleje + 10 % a 20 % butanolu,
- porovnání jednotlivých naměřených charakteristik vyobrazených formou grafů s popisy jednotlivých rozdílů,
- zhodnocení naměřených dat a vyznačení směsi s největším vlivem na výkonové parametry motoru.

4. METODIKA

Pro řešení dílčích cílů práce byl použit traktor Zetor Forterra modelové řady 8641, typ motoru 1204, o maximálním výkonu 60 kW, rok výroby 2006, který před měřením měl odpracovaných 120 Mh. Traktor je majetkem ČZU a měření bylo provedeno při sériovém nastavení motoru, v dílnách katedry jakosti, která je součástí Technické fakulty ČZU. Tato dílna je k tomuto měření vybavena potřebnými přístroji včetně vzduchotechniky.

Palivové směsi byly přesně namíchané a byly zkoušeny na výše zmíněném traktorovém motoru. Vzniklé změny byly sledovány pomocí mobilní zkušebny výkonu MAHA ZW 500 určené pro měření výkonů skrze vývodový hřídel. Pokud u jednotlivých palivových směsí vznikly změny, byly dále analyzovány a vyhodnoceny s cílem najít co nejefektivnější palivovou směs pro další provoz tohoto motoru.

V průběhu roku 2017 bylo provedeno pět měření výkonových parametrů motoru tohoto traktoru, a to vždy s přesně namíchanou směsí MN a rostlinného oleje respektive butanolu. Jelikož bylo měření prováděno z důvodů časové náročnosti v různých dnech, tak nemohlo být docíleno vždy stejných podmínek a to díky změnám počasí a venkovních teplot.

Tento faktor byl eliminován a to za použití korekčního přepočtu podle německé normy DIN 70020.

Měřená data byla zaznamenávána při vnější otáčkové charakteristice, která je blíže popsána v kapitole 4.1. Díky této otáčkové charakteristice lze sledovat více změn na výkonové křivce než je pouze výkon respektive točivý moment. Lze sledovat například posun otáčkové charakteristiky v závislosti na užití paliva, dále lze vysledovat minimální výkonové parametry, které palivo je schopné při rozběhu motoru poskytnout.

Obr. 13 Zetor Forterra 8641 [vlastní]



Základní technické parametry tohoto traktoru jsou uvedeny v příloze 1.

4.1 Měření vnější otáčkové charakteristiky (MVOCH)

Otáčkové charakteristiky znázorňují výkonové a předem zvolené parametry motoru v závislosti na otáčkách při předem definovaném nastavení plynového pedálu, kterým se standardně reguluje dodávka paliva. Na diagramu se tedy musí uvést číselná hodnota jmenovitých otáček. Na ose Y se mohou znázorňovat vybrané parametry (výkon, točivý moment, spotřeba paliva). Při zjišťování otáčkové charakteristiky se změna otáček dosahuje změnou zatížení motoru, bez žádného zásahu do dodávky palivové směsi až do dosažení hodnoty, kdy zasáhne regulátor otáček – jinak by došlo k přetočení motoru.

Otáčková charakteristika, dříve také nazývána jako rychlostní charakteristika, je nejnámější a i nejpoužívanější nástroj pro prezentaci výkonových parametrů motoru. Je tedy hojně využívána již výrobci motorů, kteří často znázorňují nejen výkon a točivý moment, ale i spotřebu v daných otáčkách. Je to dobrý nástroj, ve kterém se vyzná i absolutní laik, a proto ji lze často najít v technické dokumentaci automobilů a strojů (stavebních, zemědělských) či v různých prezentačních materiálech. Dále lze tuto charakteristiku využít k diagnostice spalovacího motoru a to ke zjištění kondice či stavu palivových systémů, v případě přeplňovaných motorů lze i odhalit závady na plnění spalovacího prostoru.

4.1.1 Korekce na atmosférické podmínky

Z důvodů různých vlivů parametrů nasávaného vzduchu na finální parametry spalovacího motoru, byly různými organizacemi po celém světě (mezinárodními a národními) vytvořeny normy a s nimi spjaté vzorce korekčních koeficientů.

Díky těmto korekčním vzorcům lze zajistit, že měření rozdílných výkonových parametrů na rozdílné palivové směsi nebude ovlivněno vnějšími vlivy. To znamená, že se minimalizují dopady různých dnů, kdy probíhalo měření (rozdílné podmínky související s parametry nasávaného vzduchu). Výsledek ze vzorce korekčního součinitele je bezrozměrný a dále se s ním vynásobí změřený výkon traktorového motoru, takto je zaručena objektivnost měření.

Výpočet výkonu motoru u vznětových motorů (korekční faktory):

DIN (Německo) norma DIN 70020

$$k = \frac{1013}{p_F} \cdot \sqrt{\frac{\vartheta + 273}{293}}$$

ISO (Mezinárodní) norma ISO DIN 1585

$$k = \left[\frac{990}{p_T} \cdot \left(\frac{\vartheta + 273}{298} \right)^{0,7} \right]^{f^m}$$

SAE (USA) norma SAE J 1349

$$k = \left[\frac{990}{p_T} \cdot \left(\frac{\vartheta + 273}{298} \right)^{0,7} \right]^{f_m}$$

JIS (Japonsko) norma JIS D 1001

$$k = \left[\frac{990}{p_T} \cdot \left(\frac{\vartheta + 273}{298} \right)^{0,7} \right]^{f_m}$$

Normy mají nastaveny limity na jejich použitelnost a každá má tedy stanovené horní a spodní limity použitelnosti viz tabulka 2.

Tab. 2 Limity dle norem [29]

Norma	Spodní limit	Horní limit	typ motoru
ISO	0,9	1,1	vznětový motor
DIN	0,96	1,06	všechny motory
EHK	0,9	1,1	vznětové motory

4.2 Pomůcky pro měření

Při provádění měření byl použit jako externí nádrž plastový kanystr (viz obr. 14) z důvodu jednoduchosti obměny palivových směsí a hlídání váhového úbytku paliva.

Obr. 14 Přepouštěcí zařízení - ČZU [vlastní]



K měření výkonu na vývodovém hřídeli byla použita brzda značky MAHA ZW500 viz obr. 15.

Obr. 15 Brzda značky MAHA - ČZU [vlastní]



4.2.1 Příprava zkušebny výkonu k měření

K měření výkonu je zapotřebí dodržet všechny požadavky jak výrobce zkušebny výkonu, tak i bezpečnost práce s měřením související.

Příprava na zkoušku výkonu lze shrnout do těchto bodů:

1. Vozík se zkušebnou je nutné umístit na vhodný, rovný povrch.
2. Musí dojít k zajištění ruční brzdy.
3. Zabránění jakýmkoliv kyvným pohybům dojde vysunutím podpěr na vozíku v tomto pořadí:
 - spuštění předního podpěrného kola na vozíku,
 - spuštění podpěrné nohy v zadní části vozíku a následné zajištění,
 - zdvižení vozíku pomocí podpěrného kola (cca 10 cm),
 - spuštění přední podpěrné nohy a následné zajištění,
 - uvolnění podpěrného kola (o jednu otáčku).
4. Otevření předního víka.
5. Montáž kardanového hřídele mezi zkušebnou a zkoušeným traktorem tak, aby byl vyrovnaný (souosý).
6. Uvázání ochranného krytu na kardanový hřídel.
7. Zapojení zkušebního zařízení ke zdroji napájení.
8. Uvedení hlavního vypínače do polohy I.
9. Aktivace ručního terminálu pomocí libovolné klávesnice (na NTB).

Zkušebna je nyní připravena k měření. Měření výkonu je možné provádět až po zahřátí traktorového motoru na provozní teplotu. Při provádění měření výkonu nesmí dojít k překročení výrobcem doporučených maximálních hodnot výkonových parametrů zkušební brzdy, viz tab. 3.

Tab 3. Technické parametry zkušebny výkonu MAHA ZW 500 [26]

Rozměry (š x v x d)	(2080 x 1515 x 3580) mm
max. točivý moment	6600 Nm
max. zkušební otáčky (přímý pohon)	2500 min ⁻¹
Měřicí systém	Tenzometrický měřicí systém (DMS-Technik)
Napájení	400 V, 50/60 Hz, 16 A
Hmotnost s podvozkem	ca. 1300 kg
Přídavné zatížení	75 kg
Jmenovitý proud	15 A
Pojistky	16 A pomalé

4.2.2 Příprava traktoru na měření výkonu

Prostor okolo traktoru musí být zabezpečen proti vstupu osob, které se měření neúčastní, všechny osoby musejí být poučeny o postupu měření a vzniku možných rizik. Měření se účastní 5 až 6 studentů, kterým je rozdán program s přesně definovanými body jednotlivých měření a na co přesně se mají na svém stanovišti zaměřit. Dále prostor okolo traktoru a zkušebního zařízení musí být vyklizen, aby byl umožněn bezpečný pohyb při měření. Komunikace během provádění zkoušky je ztížena z důvodů zvýšené hlučnosti na pracovišti, proto je nutné před začátkem zkoušení dohodnout základní znaky pro komunikaci.

Příprava traktoru k měření:

1. Traktor musí být stejně jako zkušební zařízení na vhodném a rovném povrchu.
2. Traktor musí být zajištěn proti rozjetí.
3. K chladicí soustavě traktoru musí být zajištěn dostatečný přísun vzduchu.
4. K sání traktorového motoru musí být zajištěn dostatečný přísun vzduchu.
5. Odvod spalin musí být zajištěn vzduchotechnikou s vlastním pohonem – nuceným sáním.
6. Motor traktoru musí být uveden na provozní teplotu před započítáním každého měření a to na 100 % motorovou naftu.
7. Při obměňování jednotlivých palivových směsích musí dojít k vypnutí zapalování traktoru a vypnutí zkušebního zařízení.

Směr otáčení vývodového hřídele se musí shodovat se směrem vyobrazeném na zkušebním zařízení, v opačném případě nemůže zkušební zařízení plnit svou funkci (brzdit).

4.3 Použité palivové směsi

Na technické fakultě, katedře jakosti a spolehlivosti strojů, byly připraveny celkem 4 palivové směsi. Z hlediska hustoty a viskozity, byly určeny tyto poměry, aby nedošlo k poškození palivové soustavy zkoušeného traktoru (při použití přímého předeřevu s dvoupalivovou soustavou by bylo možné zkoušet i větší poměry):

- motorová nafta (MN), použitá jako základ směsných motorových naft (SMN),
- SMN s přídavkem 5 % obj. slunečnicového oleje (MN + 5 % SO),
- SMN s přídavkem 20 % slunečnicového oleje (MN + 20 % SO),
- SMN s přídavkem 20 % obj. slunečnicového oleje a přídavkem 10 % butanolu (MN + 20 % SO + 10 % BUT),
- SMN s přídavkem 20 % obj. slunečnicového oleje a přídavkem 20 % butanolu (MN + 20 % SO + 20 % BUT),

Butanol není olej, ale alkohol, má tedy rozdílné mazací vlastnosti, další rozdíl oproti naftě je i v agresivitě na jednotlivé části palivové soustavy. Butanol není doporučené užívat ve vozidlech, která nejsou označena jako Diesel Flexi-Fuel. [35]

V porovnání s motorovou naftou mají rostlinné oleje vysokou viskozitu, vyšší teplotu vzplanutí, nižší výhřevnost a menší tepelnou stabilitu, nízké cetanové číslo.

Požadavky na palivo pro vznětové motory jsou především tyto:

- výhřevnost,
- energetický obsah paliva,
- hustota paliva,
- kvalita spalování,

- destilační křivka,
- viskozita,
- bod vzplanutí,
- cetanové číslo,
- skladování a jeho přeprava,
- vliv na životnost a funkčnost motoru. [18]

Tab. 4 Základní parametry zkoušených palivových směsí [9; 28; 33]

Parametry	Jednotky	Motorová nafta	Butanol	Slunečnicového oleje
Hustota při 15 °C	[kg/m ³]	830	813	920
Výhřevnost	[MJ/kg]	42,5	33,1	36,5
Výhřevnost	[MJ/l]	35,98	26,8	34
Bod vzplanutí (ZK)	[°C]	55	118	274
Cetanové číslo		51	25	37

Z tabulky jsou patrné rozdíly v jednotlivých parametrech. Na změny výkonových parametrů má největší vliv hodnota výhřevnosti a cetanové číslo. Zjednodušeně řečeno v hodnotě výhřevnosti je uvedeno kolik energetické hodnoty se skrývá v přesně definovaném množství paliva. Cetanové číslo (CC) vyjadřuje spalovací vlastnosti nafty. Toto číslo charakterizuje kvalitu nafty a je to měřítko pro průběh spalování. Vyšší číslo CC zajišťuje kratší prodlevu vznícení nafty a nárůst tlaku ve spalovacích válcích, není tak náhlý. Spalování je značně měkčí a tišší, čím je číslo vyšší. Spotřebu a výkon vznětového motoru negativně ovlivňuje nízké CC. [28]

5. VÝSLEDKY

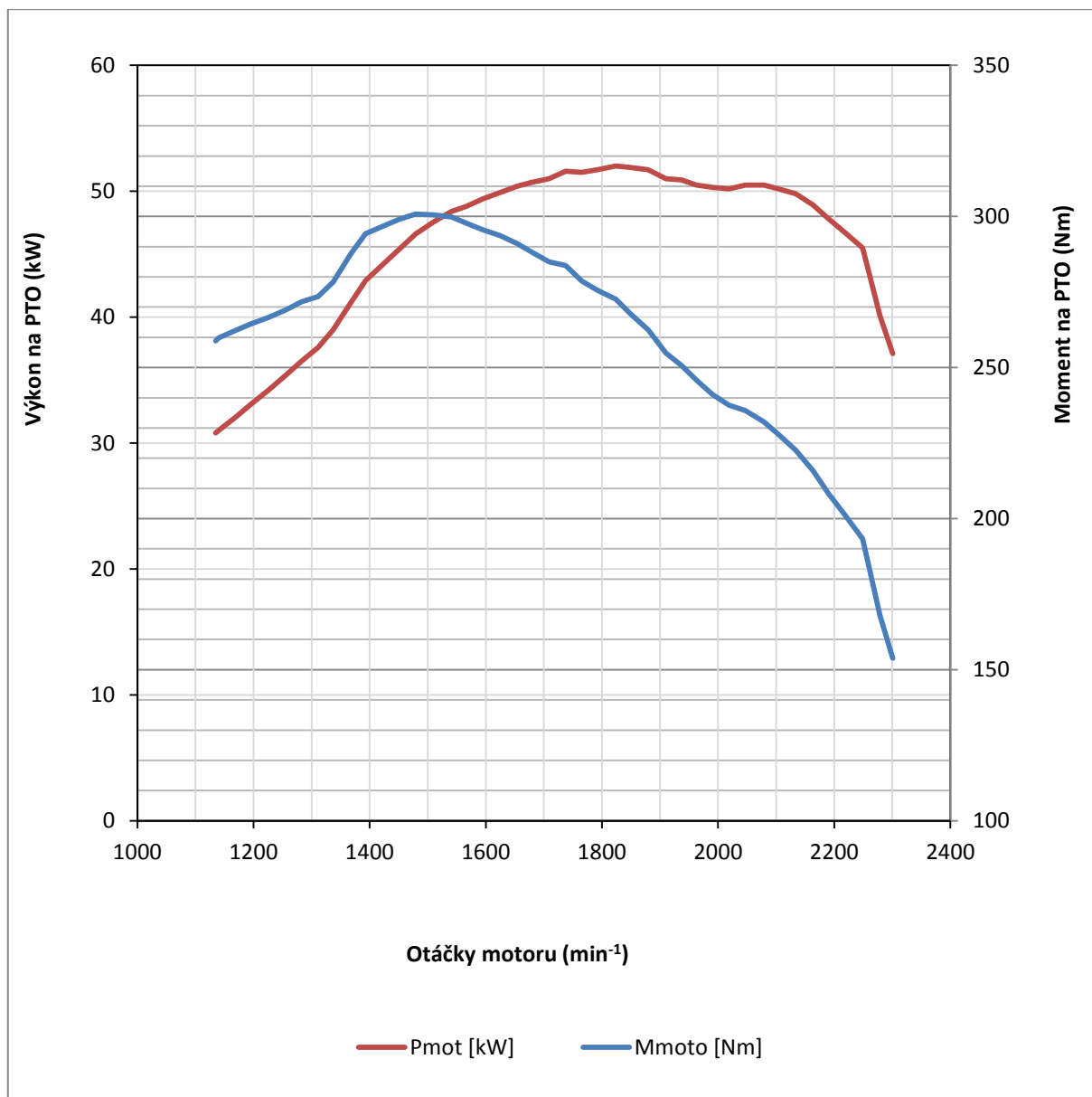
Vnější charakteristika motoru je měřena za předpokladu, že pedál akcelérátoru (plynový pedál), je v poloze maximum a to v celém rozsahu otáček – při měření byl použit ruční plyn a to z důvodu přesnějšího dávkování. Všechna měření byla provedena v tomto režimu.

5.1 Grafy a základní naměřené parametry – MN.

5.1.1 Graf a základní naměřené parametry MN

První měření bylo prováděno se 100 % motorové nafty, bez žádných přísad, a to z důvodu porovnání s ostatními následnými palivovými směsmi. Bylo tedy provedeno měření vnější charakteristiky motoru, viz graf 1.

Graf 1 Vnější charakteristika při užití 100 % motorové nafty



Tab. 5 Vnější charakteristika motoru ZETOR 100 % MN

Otáčky n - Motor [1/min]	Točivý moment M - motor [Nm]	Výkon P - motor [kW]	Otáčky n - Hřídel [1/min]	Výkon P - hřídel [kW]	Točivý moment M - hřídel [Nm]
2219	201,1	46,7	626	46,7	712,4
1824	272,6	52,1	515	52,0	965,7
1479	300,8	46,6	418	46,6	1065,7
1135	258,8	30,8	320	30,8	917,0

Graf 1 byl vytvořen z naměřených hodnot (viz tab. 5). Na vyobrazeném grafu je patrné a dle tabulky i potvrzené, že nejvyšší hodnota točivého momentu byla dosažena již při 1485 ot/min a to s hodnotou 300,9 Nm. Dále je zde patrné, že nejvyšší výkon byl dosažen ještě před dosažením 2000 ot/min a to při 1825 ot/min, kdy byla naměřena hodnota 52,1 kW.

Toto měření bylo provedeno při teplotě 25,6 °C a vlhkost v dílně byla naměřena s hodnotou 26,2 %. Atmosférický tlak byl 972,3 hPa. Při užití korekčního vzorce dle německé normy DIN 70020, vyjde korigovaný výkon 54,75 kW a točivý moment 316,24 Nm. U přepočtu s hodnotou $k = 1,051$ nebylo dosaženo limitu z tabulky 2, a proto je možné tento přepočet použít.

$$k = \frac{1013}{p_F} \cdot \sqrt{\frac{\vartheta + 273}{293}}$$

$$k = \frac{1013}{972,3} \cdot \sqrt{\frac{25,6+273}{293}} = 1,051$$

Společnost DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) naměřila na tomto typu traktoru na vývodovém hřídeli výkon 53,4 kW a točivý moment 312 Nm. V porovnání s jejich naměřenými hodnotami jsou námi naměřené hodnoty při užití korekčních vzorců vyšší. Může to být zapříčiněno podmínkami, za kterých byly tyto hodnoty naměřeny, ale také rozdílným technickým stavem traktoru. [25]

Jelikož naměřené hodnoty nebyly naměřené přímo na klikovém hřídeli motoru, ale na vývodovém hřídeli, je logické, že naměřené hodnoty budou znatelně nižší, než jaké deklaruje výrobce traktoru. Každé soukolí v převodové skříní nemá 100 % účinnost. V technické literatuře se často píše o ztrátě okolo jednoho procenta na každém soukolí. Dále jsou tu ztráty, které jsou způsobeny přídatnými agregáty, jako je kupříkladu alternátor, klimakompresor nebo různé hydrogenerátory pro další pomocná zařízení. Často je tedy výkon na vývodovém hřídeli nižší a to v rozmezí od 5 % do 15 %.

K dalšímu vyhodnocování a porovnávání byly použity hodnoty naměřené na 100 % motorové naftě s použitou korekcí dle normy DIN 70020.

5.2 Grafy a základní naměřené parametry – MN a slunečnicový olej

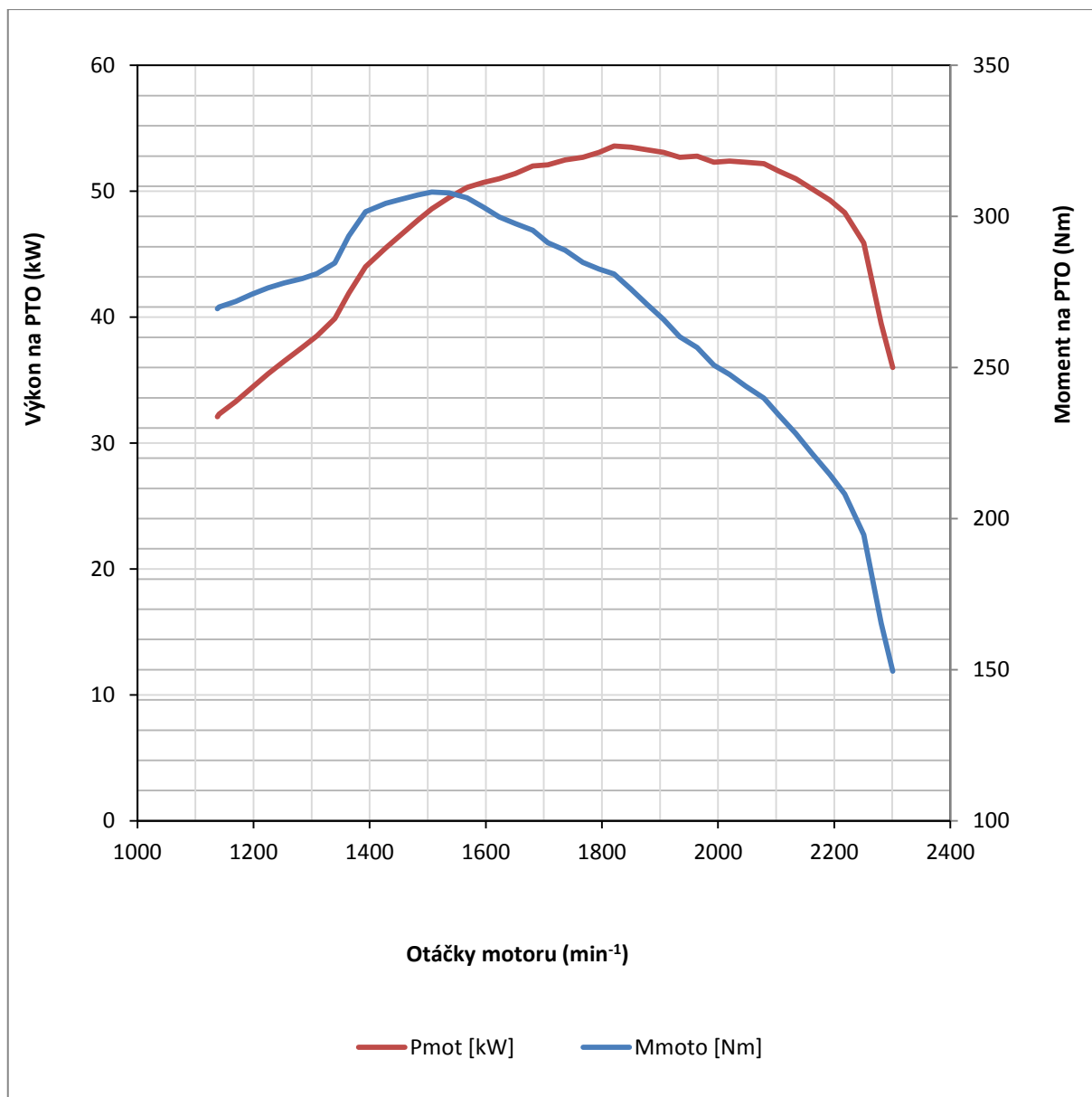
5.2.1 Graf a naměřené hodnoty MN a 5 % slunečnicového oleje

Druhé měření bylo prováděno se směsí motorové nafty a slunečnicového oleje a to v poměru 95 % motorové nafty a 5 % slunečnicového oleje. V praxi tedy na namíchání 4 l směsi je zapotřebí 3,8 l MN a 0,2 l slunečnicového oleje. Výpis všech naměřených hodnot otáčkové charakteristiky, které jsou použity pro tvorbu grafu 2, jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6 Vnější charakteristika při užití 95 % motorové nafty a 5 % slunečnicového oleje

nMotor [rpm]	Mmoto [Nm]	Pmot [kW]	nHřidel [rpm]	Phřidel [kW]	Mhřidel [Nm]
2301	149,5	36,0	650	36,1	529,7
2281	165,4	39,5	644	39,5	586,0
2251	194,6	45,9	635	45,9	689,6
2218	208,1	48,3	626	48,3	737,4
2193	214,6	49,3	619	49,3	760,2
2162	221,6	50,2	610	50,2	785,2
2134	228,2	51,0	602	51,0	808,5
2105	234,2	51,6	594	51,6	829,9
2079	239,9	52,2	587	52,2	850,0
2047	243,9	52,3	578	52,3	864,2
2020	247,7	52,4	570	52,4	877,7
1993	250,8	52,3	562	52,3	888,6
1964	256,6	52,8	554	52,8	909,0
1934	260,2	52,7	546	52,7	922,1
1906	265,9	53,1	538	53,1	942,3
1878	270,9	53,3	530	53,3	960,0
1850	276,0	53,5	522	53,5	978,0
1821	281,0	53,6	514	53,6	995,7
1795	282,6	53,1	507	53,1	1001,3
1767	284,8	52,7	499	52,7	1009,1
1737	288,8	52,5	490	52,5	1023,3
1707	291,3	52,1	482	52,1	1032,1
1681	295,4	52,0	474	52,0	1046,6
1651	297,6	51,4	466	51,4	1054,4
1623	299,8	51,0	458	51,0	1062,2
1596	303,1	50,7	450	50,7	1074,0
1568	306,2	50,3	443	50,3	1084,8
1537	307,8	49,5	434	49,5	1090,7
1507	308,1	48,6	425	48,6	1091,8
1483	307,1	47,7	419	47,7	1088,3
1450	305,5	46,4	409	46,4	1082,6
1428	304,3	45,5	403	45,5	1078,1
1393	301,6	44,0	393	44,0	1068,6
1364	293,5	41,9	385	41,9	1039,7
1340	284,6	39,9	378	39,9	1008,4
1309	281,1	38,5	369	38,5	995,8
1284	279,4	37,6	362	37,6	990,1
1253	278,0	36,5	354	36,5	984,8
1225	276,4	35,5	346	35,5	979,4
1197	274,3	34,4	338	34,4	971,7
1169	271,9	33,3	330	33,3	963,4
1141	270,0	32,3	322	32,3	956,7
1138	269,5	32,1	321	32,1	954,8

Graf 2 Vnější charakteristika motoru ZETOR 95 % MN a 5 % slunečnicového oleje



Na vyobrazeném grafu je patrné a podle tabulky i potvrzené, že nejvyšší hodnota točivého momentu byla dosažena při 1515 ot/min a to s hodnotou 308,2 Nm. Dále je zde patrné, že nejvyšší výkon byl dosažen při 1830 ot/min, kdy byla naměřena hodnota výkonu 53,6 kW. V příložené tabulce jsou i hodnoty naměřené přímo na brzdě rozdílné, a to z důvodu, že vývodový hřídel je z převodován poměrem 3,543 vůči klikovému hřídeli motoru traktoru. To znamená, že nejvyšší výkon byl naměřen při otáčkách vývodového

hřídele s hodnotou 514 za minutu. A maximální hodnota točivého momentu byla dosažena při otáčkách vývodového hřídele s hodnotou 425 ot/min.

Toto měření bylo provedeno při teplotě 28,8 °C a vlhkost v dílně byla naměřena s hodnotou 18,3 %. Atmosférický tlak byl 992,0 hPa. Při užití korekčního vzorce dle německé normy DIN 70020, vyjde korigovaný výkon 55,52 kW a točivý moment 319,29 Nm. U přepočtu s hodnotou $k = 1,036$ nebylo dosaženo limitu z tabulky 2, a proto je možné tento přepočet použít.

$$k = \frac{1013}{p_F} \cdot \sqrt{\frac{\vartheta + 273}{293}}$$

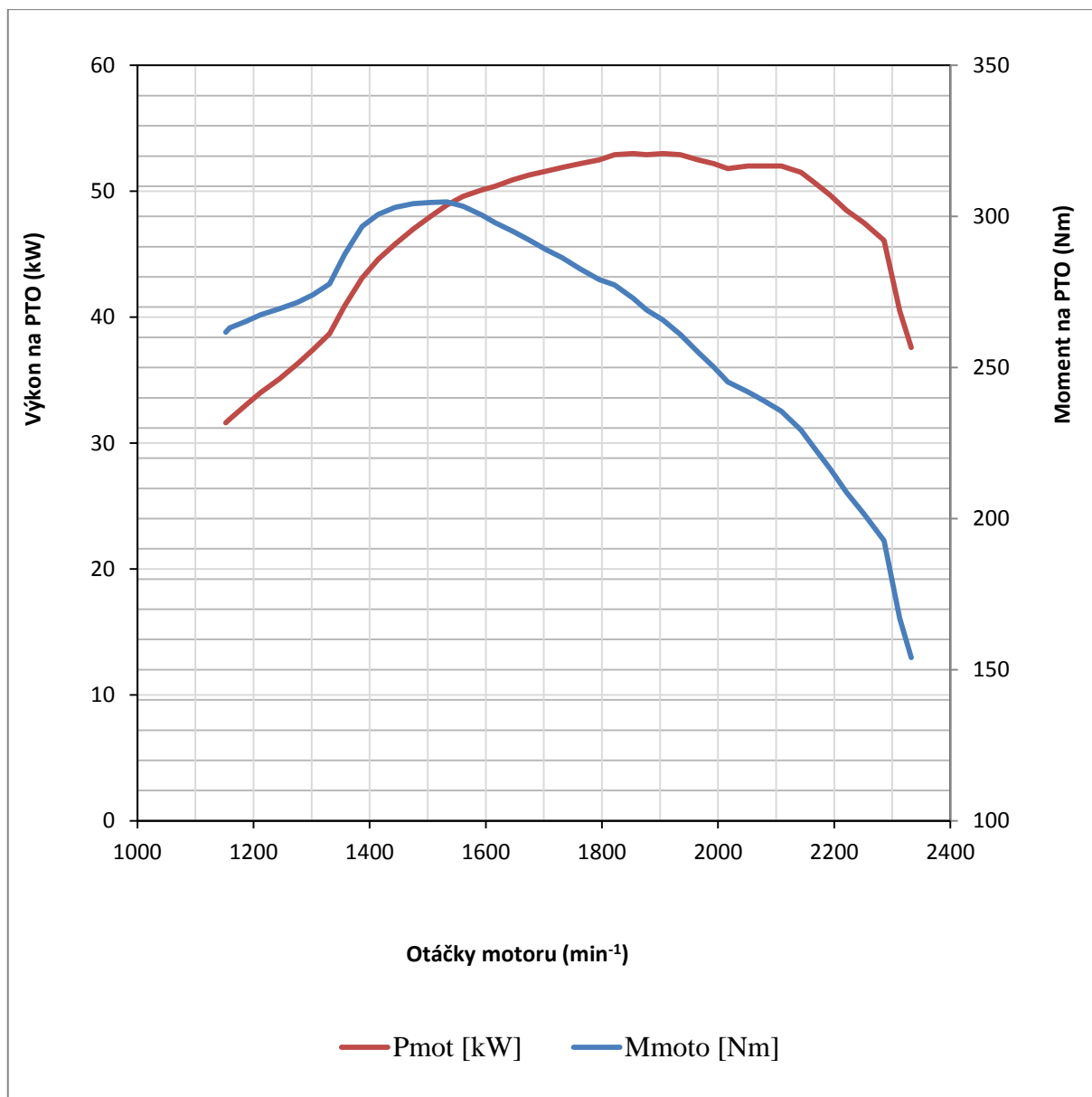
$$k = \frac{1013}{992} \cdot \sqrt{\frac{28,8+273}{293}} = 1,036$$

Výkon motoru naměřený na vývodovém hřídeli při užití této palivové směsi byl tedy navýšen o 1,14 % oproti 100 % MN a točivý moment byl taktéž vyšší o 0,96 %. Zde je tedy patrný pozitivní vliv na výkonové parametry.

5.2.2 Graf a naměřené hodnoty MN a 20 % slunečnicového oleje

Třetí měření bylo prováděno se směsí motorové nafty a slunečnicového oleje a to v poměru 80 % motorové nafty a 20 % slunečnicového oleje. V praxi tedy na namíchání 5 litrů směsi je zapotřebí 4 litry MN a 1 litr slunečnicového oleje. Naměřené hodnoty byly získány při měření vnější charakteristiky motoru.

Graf 3 Vnější charakteristika při užití 80 % motorové nafty a 20 % slunečnicového oleje



Tab. 7 Vnější charakteristika motoru ZETOR 80 % MN a 20 % slunečnicového oleje

Otáčky n - Motor [1/min]	Točivý moment M - motor [Nm]	Výkon P - motor [kW]	Otáčky n - Hřídel [1/min]	Výkon P - hřídel [kW]	Točivý moment M - hřídel [Nm]
2221	208,7	48,5	618	48,5	750,3
1905	265,7	53,0	530	53,0	955,3
1533	304,8	48,9	426	48,9	1096,2
1152	261,7	31,6	320	31,6	941,2

Graf 3 byl vytvořen z naměřených hodnot (viz tab. 7). Na vyobrazeném grafu je patrné a podle tabulky i potvrzené, že nejvyšší hodnota točivého momentu byla dosažena při 1533 ot/min a to s hodnotou 304,8 Nm. Dále je zde patrné, že nejvyšší výkon byl dosažen při 1905 ot/min, kdy byla naměřena hodnota výkonu 53,0 kW. Je tedy patrné, že obě hodnoty nepatrně klesly, ale zároveň se celá charakteristika posunula s otáčkami výše a to v případě výkonu o celých 84 ot/min a v případě točivého momentu o 26 ot/min. Oproti předešlé palivové směsi s příměsí 5 % slunečnicového oleje.

Toto měření bylo provedeno při teplotě 24,8 °C a vlhkost v dílně byla naměřena s hodnotou 19,8 %. Atmosférický tlak byl 991,1 hPa. I zde byl použit výpočet korekce dle německé normy DIN 70020, vyjde korigovaný výkon 54,61 kW a točivý moment 314,16 Nm. U přepočtu s hodnotou $k = 1,0304$ nebylo dosaženo limitu z tabulky 2, a proto je možné tento přepočet použít.

$$k = \frac{1013}{p_F} \cdot \sqrt{\frac{\vartheta + 273}{293}}$$

$$k = \frac{1013}{991,1} \cdot \sqrt{\frac{24,8+273}{293}} = 1,0304$$

Výkon motoru naměřený na vývodovém hřídeli při užití této palivové směsi byl tedy nepatrně nižší o 0,25 % oproti 100 % MN a točivý moment byl taktéž nižší o 0,66 %. Zde je tedy patrný negativní vliv na výkonové parametry.

5.3 Grafy a základní naměřené parametry – MN, slunečnicový olej a butanol

5.3.1 Grafy a naměřené hodnoty MN, 20 % slunečnicového oleje a 10 % butanolu

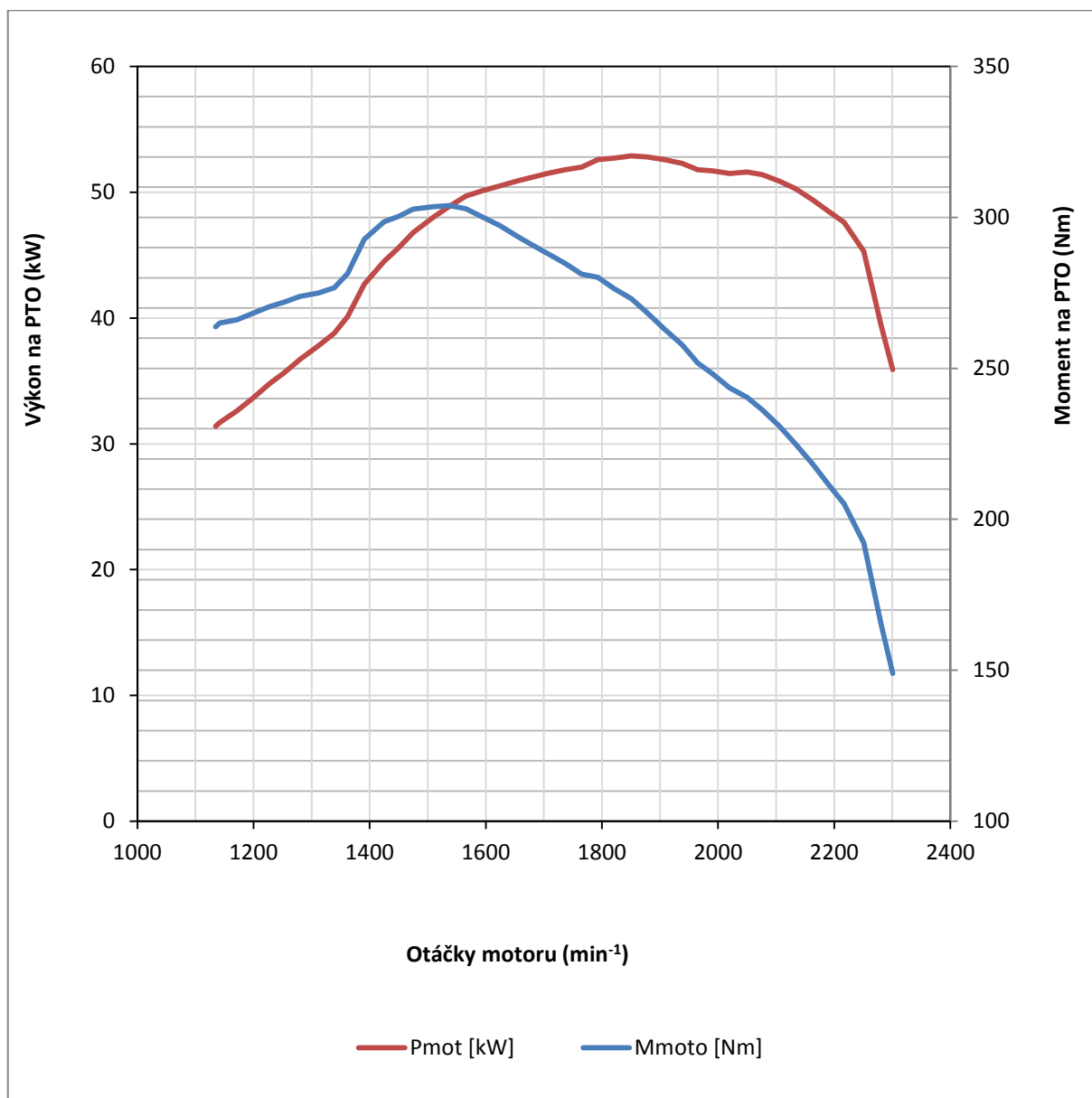
Čtvrté měření bylo prováděno se směsí motorové nafty, slunečnicového oleje a butanolu a to v poměru 70 % motorové nafty plus 20 % slunečnicového oleje a 10 % butanolu. V praxi tedy na namíchání 5 litrů směsi je zapotřebí 3,5 litru MN, 1 litr slunečnicového oleje a 0,5 litru butanolu.

Naměřené hodnoty byly získány při měření vnější charakteristiky motoru.

Tab. 8 Vnější charakteristika motoru ZETOR 70 % MN, 20 % slunečnicového oleje a 10 % butanolu

Otáčky n - Motor [1/min]	Točivý moment M - motor [Nm]	Výkon P - motor [kW]	Otáčky n - Hřídel [1/min]	Výkon P - hřídel [kW]	Točivý moment M - hřídel [Nm]
2217	205,1	47,6	626	47,6	726,6
1851	273,1	52,9	522	52,9	967,4
1538	303,9	48,9	434	48,9	1076,6
1135	263,8	31,4	320	31,4	934,5

Graf 4 Vnější charakteristika při užití 70 % motorové nafty, 20 % slunečnicového oleje a 10 % butanolu



Graf 4 byl vytvořen z naměřených hodnot (viz tab. 8 – kde jsou uvedeny jen limitní hodnoty). Na vyobrazeném grafu je patrné a dle tabulky i potvrzené, že nejvyšší hodnota točivého momentu byla dosažena při 1538 ot/min a to s hodnotou 303,9 Nm. Dále je zde patrné, že nejvyšší výkon byl dosažen ještě před dosažením 2000 ot/min a to při 1851 ot/min, kdy byla naměřena hodnota 52,9 kW.

Toto měření bylo provedeno při teplotě 27,9 °C a vlhkost v dílně byla naměřena s hodnotou 23,2 %. Atmosférický tlak byl 973,1 hPa. I zde byl použit výpočet korekce dle německé normy DIN 70020, vyjde korigovaný výkon 54,78 kW a točivý moment 314,74 Nm. U přepočtu s hodnotou $k = 1,0357$ nebylo dosaženo limitu z tabulky 2, a proto je možné tento přepočet použít.

$$k = \frac{1013}{p_F} \cdot \sqrt{\frac{\vartheta + 273}{293}}$$

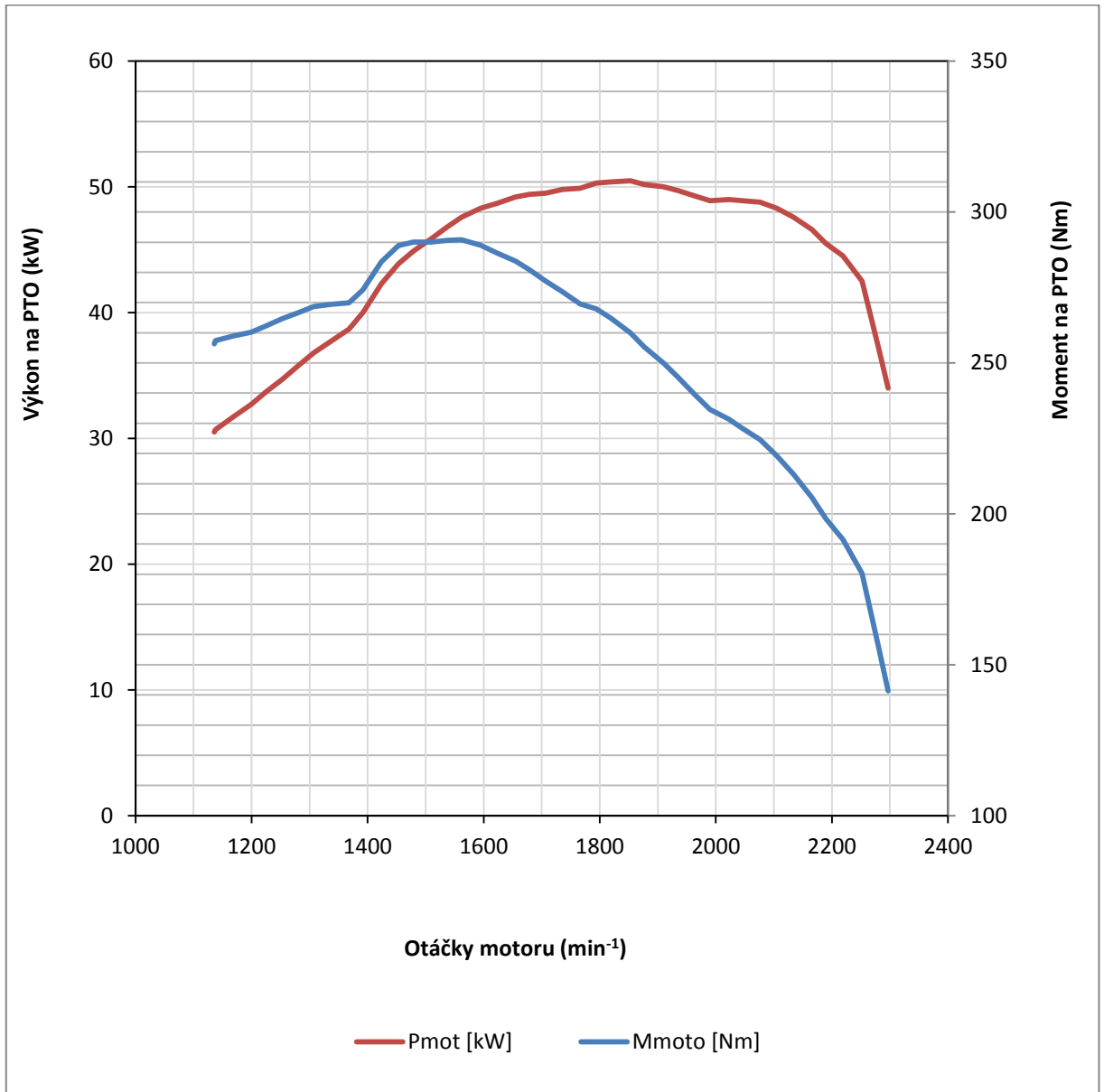
$$k = \frac{1013}{973,1} \cdot \sqrt{\frac{27,9+273}{293}} = 1,0357$$

Výkon motoru naměřený na vývodovém hřídeli při užití této palivové směsi byl tedy nepatrně vyšší a to o 0,04 % oproti 100 % MN a točivý moment byl naopak nižší o 0,47 %. Zde byly naměřeny téměř totožné hodnoty jako u prvního měření. Nárůst výkonu je zanedbatelný, propad hodnoty točivého momentu jen potvrzuje menší výhřevnost této palivové směsi.

5.3.2 Graf a základní naměřené parametry MN, 20 % slunečnicového oleje a 20 % butanol

Čtvrté měření bylo prováděno se směsí motorové nafty, slunečnicového oleje a butanolu a to v poměru 60 % motorové nafty plus 20 % slunečnicového oleje a 20 % butanolu. V praxi tedy na namíchání 5 litrů směsi je zapotřebí 3 litry MN plus 1 litr slunečnicového oleje a plus 1 litr butanolu.

Graf 5 Vnější charakteristika při užití 60 % motorové nafty, 20 % slunečnicového oleje a 20 % butanolu



Tab. 9 Vnější charakteristika motoru ZETOR 60 % MN, 20 % slunečnicového oleje a 20 % butanolu

Otáčky n - Motor [1/min]	Točivý moment M - motor [Nm]	Výkon P - motor [kW]	Otáčky n - Hřídel [1/min]	Výkon P - hřídel [kW]	Točivý moment M - hřídel [Nm]
2219	191,5	44,5	626	44,5	678,5
1853	260,0	50,5	523	50,5	921,2
1562	290,8	47,6	441	47,6	1030,3
1136	256,3	30,5	321	30,5	908,1

Graf 5 byl vytvořen z naměřených hodnot (viz tab. 9 – kde jsou uvedeny jen limitní hodnoty). Na vyobrazeném grafu je patrné a dle tabulky i potvrzené, že nejvyšší hodnota točivého momentu byla dosažena při 1562 ot/min a to s hodnotou 290,8 Nm. Dále je zde patrné, že nejvyšší výkon byl při 1853 ot/min, kdy byla naměřena hodnota 50,5 kW. Z těchto parametrů je znát výrazný propad v obou naměřených hodnotách.

Toto měření bylo provedeno při teplotě 22,5 °C a vlhkost v dílně byla naměřena s hodnotou 27,3 %. Atmosférický tlak byl 981,5 hPa. I zde byl použit výpočet korekce dle německé normy DIN 70020, vyjde korigovaný výkon 52,72 kW a točivý moment 303,84 Nm. U přepočtu s hodnotou $k = 1,044$ nebylo dosaženo limitu z tabulky 2, a proto je možné tento přepočet použít.

$$k = \frac{1013}{p_F} \cdot \sqrt{\frac{\vartheta + 273}{293}}$$

$$k = \frac{1013}{981,5} \cdot \sqrt{\frac{27,3+273}{293}} = 1,044$$

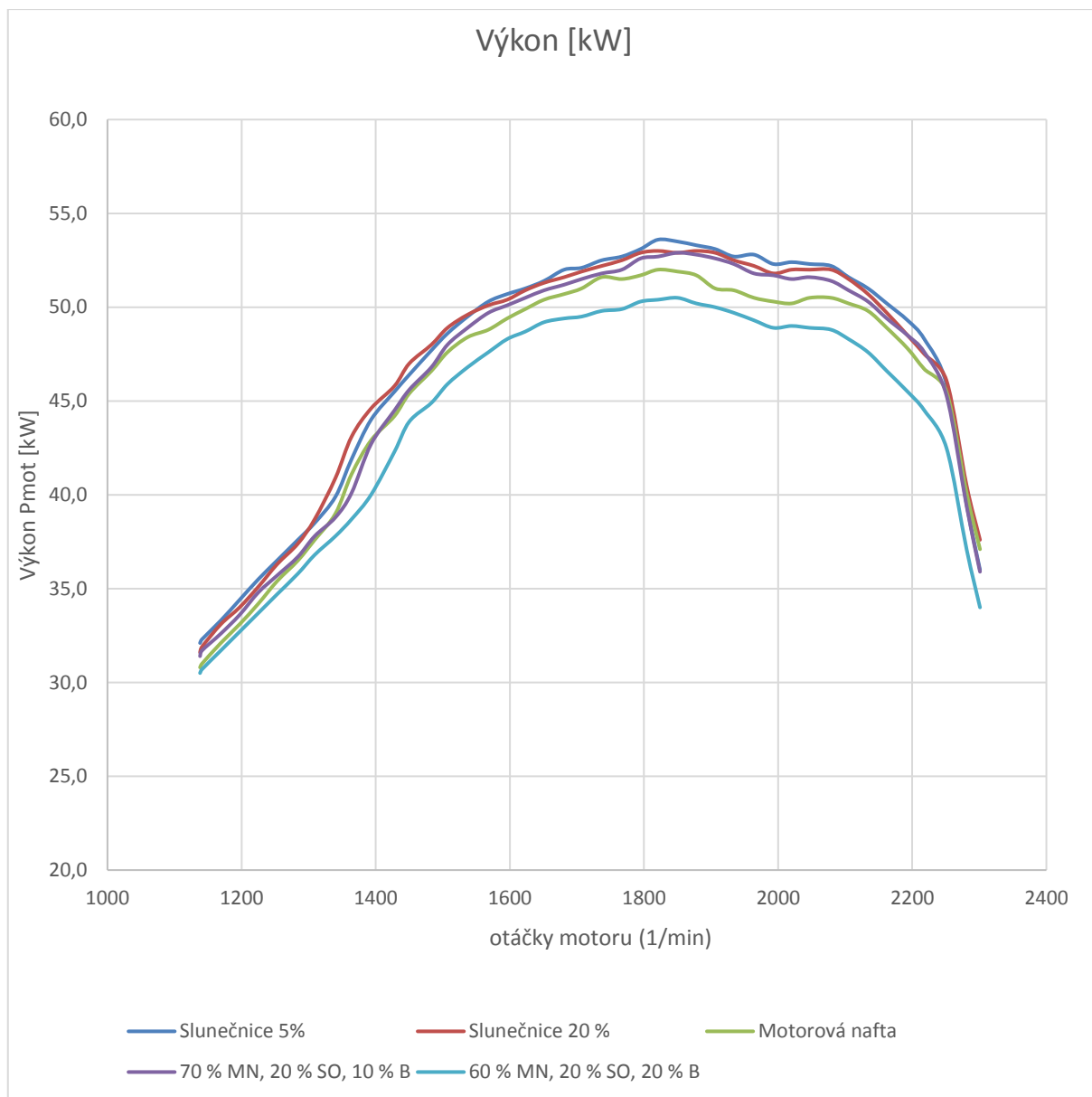
Výkon motoru naměřený na vývodovém hřídeli při užití této palivové směsi (60 % MN + 20 % SO + 20 % BUT) byl tedy výrazně nižší a to o 3,70 % oproti 100 % MN a točivý

moment byl taktéž nižší a to o 4,08 %. U této palivové směsi byl zjištěn největší negativní vliv na výkonové parametry.

5.4 Porovnání všech výkonových parametrů

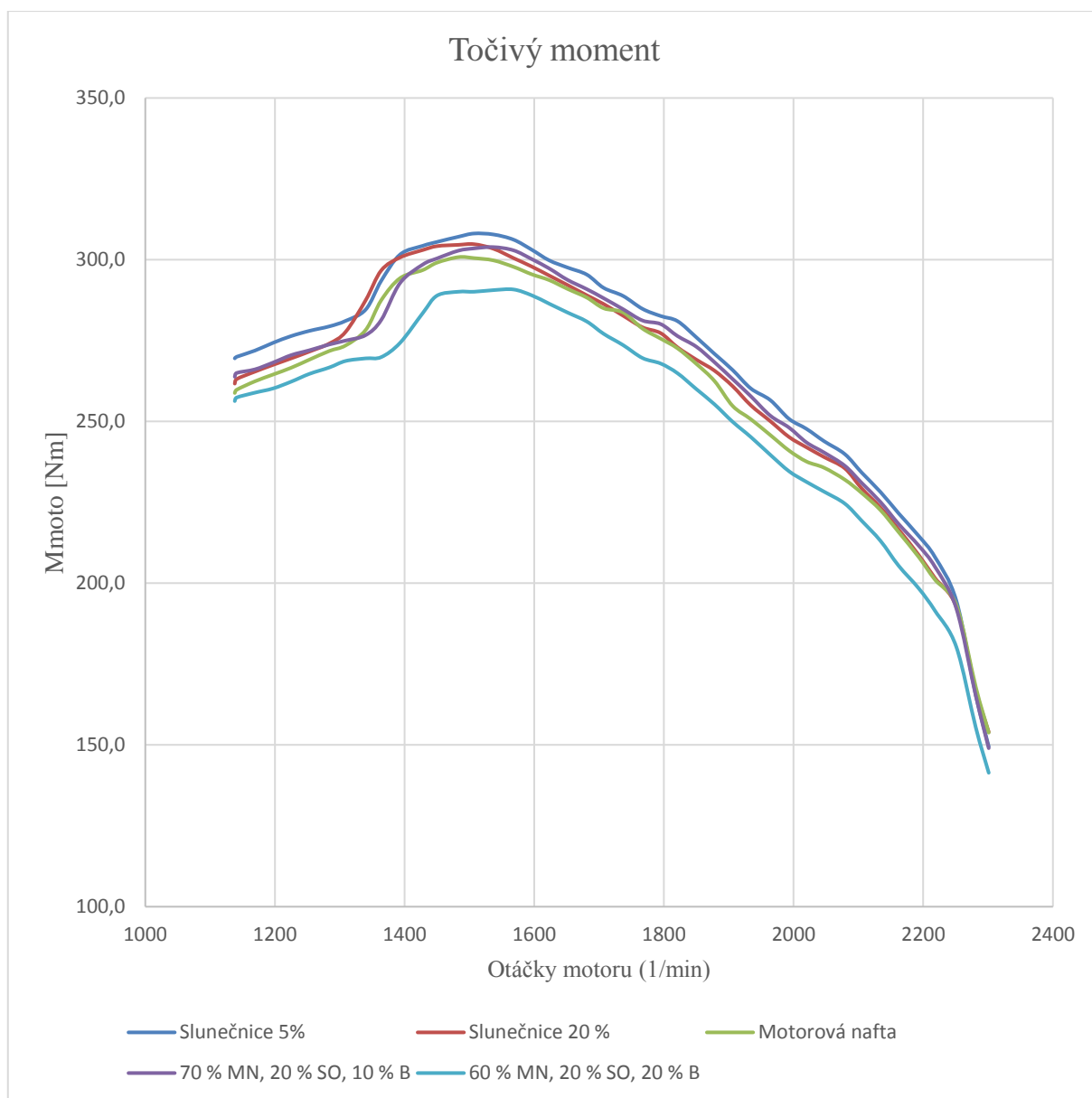
Pro zhodnocení všech palivových směsí byla brána jako etalon motorová nafta. Podle nafty tedy byly hodnoceny další směsi. Pro zvýraznění a zpřehlednění výsledků byly vytvořeny dva grafy. Na grafu 6 jsou vykresleny jednotlivé výkonové křivky. Na grafu 7 jsou vyobrazeny jednotlivé průběhy točivého momentu. Pro sumarizaci těchto dat ještě byla pro zpřehlednění vytvořena tabulka 10. Všechny hodnoty použité na tvorbu srovnávacích grafů a dalších tabulek nebyly přepočítávané korekčními součiniteli, byly ponechány hrubé hodnoty naměřené přímo na brzdě.

Graf 6 Výkonové křivky všech porovnávaných směsí



Z tohoto grafu je dobře čitelné, že nejvyšší výkon byl dosažen na první palivovou směs (95 % MN + 5 % SO), další palivové směsi (80 % MN + 20 % SO a 70 % MN + 20 % SO + 10 % BUT) jsou naměřenými parametry téměř shodné. Největší výkonový rozdíl a tedy i nejhůře dopadla zkouška pro palivovou směs 60 % MN + 20 % SO + 20 % BUT.

Graf 7 Křivky točivého momentu pro všechny porovnávané směsi



Na grafu jsou potvrzené již vypsané informace z předešlého grafu, na kterém byly uvedeny pouze výkonové křivky. Výkon a točivý moment spolu naprosto souvisí.

Tab. 10 Souhrn všech základních naměřených parametrů u všech palivových směsí

Palivo	Otáčky n - Motor [1/min]	Točivý moment M - motor [Nm]	Výkon P - motor [kW]	Otáčky n - Hřídel [1/min]	Výkon P - hřídel [kW]	Točivý moment M - hřídel [Nm]
motorová nafta	2219	201,1	46,7	626	46,7	712,4
	1824	272,6	52,0	515	52,0	965,7
	1479	300,8	46,6	418	46,6	1065,7
	1135	258,8	30,8	320	30,8	917,0
5 % slunečnicového oleje a 95 % motorové nafty	2218	208,1	48,3	626	48,3	737,4
	1821	281,0	53,6	514	53,6	995,7
	1507	308,1	48,6	425	48,6	1091,8
	1138	269,5	32,1	321	32,1	954,8
20 % slunečnicového oleje a 80 % motorové nafty	2221	208,7	48,5	618	48,5	750,3
	1905	265,7	53,0	530	53,0	955,3
	1533	304,8	48,9	426	48,9	1096,2
	1152	261,7	31,6	320	31,6	941,2
10 % butanolu + 20 % slunečnicového oleje a 70 % motorové nafty	2217	205,1	47,6	626	47,6	726,6
	1851	273,1	52,9	522	52,9	967,4
	1538	303,9	48,9	434	48,9	1076,6
	1135	263,8	31,4	320	31,4	934,5
20 % butanolu + 20 % slunečnicového oleje a 60 % motorové nafty	2219	19154	44,5	626	44,5	678,5
	1853	260,0	50,5	523	50,5	921,2
	1562	290,8	47,6	441	47,6	1030,3
	1136	256,3	30,5	321	30,5	908,1

V tabulce 10 jsou uvedeny limitní naměřené hodnoty pro jednotlivé směsi a jsou dále označeny barvami podle výkonnosti. Sytě zelená je směs s nejvyšším výkonem a točivým momentem jedná se o směs 95 % motorové nafty a 5 % slunečnicového oleje. Světle zelená je směs, na které byly naměřeny druhé nejlepší hodnoty, jedná se o směs 80 % motorové nafty a 20 % slunečnicového oleje. Třetí směs a její naměřené hodnoty byly označeny žlutou barvou. Tato směs se dá označit jako střední a byla složena ze 70 % motorové nafty, 20 % slunečnicového oleje a 10 % butanolu. Dle tabulky 11 se i tato směs jeví jako nejlepší kompromis mezi cenou na výrobu a výkonem. Předposlední a také druhé nejslabší výkony

byly naměřeny u 100 % motorové nafty, je označena oranžovou barvou. A poslední směs, červeně vyobrazená, je směs složená z 60 % motorové nafty, 20 % slunečnicového oleje a 20 % butanolu.

V tabulce 11 jsou uvedeny pouze výkony. Tabulka je zde uvedena pro porovnání naměřených hodnot a hodnot korigovaných pomocí korekce DIN 70020. Točivý moment zde není uveden, jelikož věrně kopíroval naměřené výkony a ani u jednoho měření se nestalo, že by se objevil výrazný rozdíl. Nejmenší rozdíl (3,03 %) mezi naměřenými a přepočítanými daty je u směsi s 80 % MN a 20 % SO. Tato směs dokonce vyšla jako druhá nejhorší z pohledu pro zlepšení výkonových parametrů. Nejlepší směs s pozitivním vlivem na výkon je směs 5 % SO a 95 % MN. Zato největší (4,39 %) rozdíl se projevil u směsi s 20 % SO + 20 % BUT 60 % MN, tato směs se projevila jako nepřínosná jak při měření, tak i při přepočtu. Poslední zkoušená směs byla nejméně přínosnou z pohledu výkonových parametrů. U 100 % motorové nafty byl rozdíl 5,08 % mezi hodnotami naměřenými a hodnotami přepočítanými.

Tab 11. Naměřené a přepočtené výkony traktorového motoru k MN

Palivo	Výkonový rozdíl výkonu P [%]	Naměřený výkon [kW]	Přepočítaný výkon [kW]	Výkonový rozdíl výkonu P [%] - s korekcí
motorová nafta	100,00 %	52,10	54,75	100,00 %
5 % slunečnicového oleje a 95 % motorové nafty	103,07 %	53,60	55,52	101,14 %
20 % slunečnicového oleje a 80 % motorové nafty	101,92 %	53,00	54,61	99,75 %
10 % butanolu a 20 % slunečnicového oleje a 70 % motorové nafty	101,73 %	52,90	55,80	101,88 %
20 % butanolu a 20 % slunečnicového oleje a 60 % motorové nafty	97,03 %	50,50	52,31	95,35 %

5.4.1 Ekonomický rozbor použitých směsí

Výdaje na výrobu 1 litru palivové směsi

Aktuální ceny:

- cena jednoho litru nafty je 30,83 Kč,
- cena jednoho litru slunečnicového oleje je 32 Kč,
- cena jednoho litru butanolu je 22,20 Kč. [24;34]

Pro první hodnocenou palivovou směs (95 % MN a 5 % SO) je cena za jeden litr složena z dvou položek a výsledná cena tedy je 30,88 Kč, tedy o 0,18 % dražší než je průměrná cena samotné nafty. Druhá palivová směs vyjde na 31,06 Kč, ta je tedy nejdražší, dražší o 0,75 % než MN. Třetí palivová směs se skládá ze tří položek a v součtu cena jednoho litru vychází na 30,20 Kč. Je tedy levnější než motorová nafta a při užití korigovaných hodnot je i dokonce stejně výkonná. Poslední zkoušená palivová směs má nejmenší náročnost na náklady oproti MN o celých 4,9 % ale také má nejhorší výkonové parametry. (viz tab. 12)

Tab. 12 Ekonomický rozbor všech palivových směsí

Palivo	Výkonový rozdíl výkonu P [%]	Hodnota 5 l PHM	Rozdíl ceny [%]
5 % slunečnicového oleje a 95 % motorové nafty	103,07 %	154,44 Kč	100,18 %
20 % slunečnicového oleje a 80 % motorové nafty	101,92 %	155,32 Kč	100,75 %
10 % butanolu a 20 % slunečnicového oleje a 70 % motorové nafty	101,73 %	151,00 Kč	97,91 %
motorová nafta	100,00 %	154,15 Kč	100,00 %
20 % butanolu a 20 % slunečnicového oleje a 60 % motorové nafty	97,03 %	146,69 Kč	95,10 %

6. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vyhodnotit změny provozních parametrů traktorového motoru spalováním oleje a jeho směsí s motorovou naftou jako paliva. K měření byl použit traktor značky Zetor typového označení Forterra o jmenovitém výkonu 60 kW. Výkon zkoušeného traktoru byl měřen přes vývodový hřídel a to pomocí zátěžové brzdy MAHA ZW 500.

Aby byla zajištěna věrohodnost změřených dat, bylo vždy provedeno stejné měření (MVOCH) - měření vnější otáčkové charakteristiky motoru. Bylo tedy provedeno celkem 5 měření a z toho čtyři měření na palivové směsi a jedno na 100 % motorovou naftu, která byla užitá jako etanol.

Na začátku této práce byl proveden rozbor jednotlivých palivových soustav a to z důvodu porovnání vhodnosti soustav k dalšímu používání na podobné palivové směsi. Při rozboru odborné literatury jsem byl ujištěn, že systémy s rotačními čerpadly jsou pro tyto palivové směsi absolutně nevhodné, ba dle výrobců (Lucas a Bosch) dokonce zakázané. Z tohoto rozboru vyplývá, že použitím směsí paliv v traktorovém motoru Zetor 1204 s řadovým čerpadlem, by do budoucna nemusel přinést žádné velké komplikace. Další vhodný systém se jeví jako systém čerpadlo tryska, ale bohužel nebyl při měření k dispozici.

Poslední uvedený systém s tlakovým zásobníkem zřejmě nebude úplně ideální a to z důvodů nižší mazavosti palivové směsi obsahující butanol. Při užití vhodných aditiv a 100 % odloučením vody z palivové směsi je možné použít i systém Common Rail.

Při měření jednotlivých směsí se ukázalo, že nejvhodnější směs paliva, která má pozitivní dopad na výkon motoru je směs motorové nafty s přídavkem 5 % objemových slunečnicového oleje. Nárůst výkonu byl zapříčiněn vyšší hustotou oleje a zároveň tím, že se vstříkuje objemově. Ač má olej menší výhřevnost, tak se ho objemově dostane více do spalovacího prostoru motoru, a proto je tento výsledek nejvyšší. Naopak z pohledu ekonomiky se tato varianta nejeví tak příznivě, je dražší než MN, ale nikoli nejdražší. Nejdražší varianta byla palivová směs 80 % motorové nafty a 20 % slunečnicového oleje. Tato varianta měla dokonce negativní dopad na výkonové parametry motoru vůči použití motorové nafty. Zato neekonomičtější varianta byla s užitím 10 % butanolu. Tato varianta byla výkonově dokonce po přepočtu téměř shodná s motorovou naftou, ze všech zkoušených palivových směsí byla naftě nejbližší. Oproti čisté naftě se projevil pozitivní výkonový rozdíl o 0,04 % a z pohledu nákladů se jedná o úsporu ve výši 2,1 % oproti motorové naftě.

Poslední zkoušená směs s 20 % objemovými butanolu a s 20 % slunečnicového oleje se ukázala jako nejhorší varianta z přihlédnutím na změřené výkonové parametry zkoušeného motoru.

Hypotéza : jelikož byl zkoušený motor nastavený z továrny na motorovou naftu, dá se předpokládat, že při individuálním přenastavení naftového čerpadla by se parametry zkoušených paliv mohli výrazně zlepšit. Ale to by se jednalo o individuální zkoušení.

Pohled na budoucnost : při honbě za co nejdostupnějším obnovitelným palivem a zároveň za co nejmenšími emisemi, jsou stále zdokonalovány spalovací motory a tím jsou technologicky přetěžovány. Dnešní vznětový motor, se vším co k němu standardně patří (myšleny technologie na úpravu emisí), již nemá dlouhou budoucnost. Jelikož energie vložená do vývoje spalovacího motoru se mohla jak dávno přesunout do vývoje například elektrického pohonu, který dříve nebo později beztak nahradí klasické spalovací motory. Elektromobilita je nyní masivně podporována politikou EU, která se snaží o co nejpočetnější síť dobíjecích terminálů. Další výhodou pro elektromobilitu je i v technologickém pokroku v oblasti baterií a v systémech dobíjení.

7. Použitá literatura

- [1] BAUER, František et al. *Traktory*. 1. vydání. Praha: Profi Press, 2006, 192 s. ISBN 80-86726-15-0.
- [2] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vydání. Brno: Vlastním nákladem, 2003, 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [3] LANDHÄÜßER, Felix et al. *Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory*. 1. vydání. Praha: Robert Bosch GmbH, 2005, 95 s. ISBN 80-903132-7-2.
- [4] KONRAD, Reif et al. *Moderne Diesel-Einspritzsysteme Common Rail und Einzelzylindersysteme*. 1. Auflage. Springer-Verlag, 2010, 172 s. ISBN 978-3-8348-1312-1.
- [5] VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel*. 1. vydání. Brno: František Vlk, 2002, 299 s. ISBN 80-238-7282-6.
- [6] LÁNSKÝ, Emil. Cesta vznětového motoru LXXXVI. díl. *TRANSPORT MAGAZÍN: měsíčník Sdružení automobilových dopravců*, 2015, č. 4, Praha, s. 51.
- [7] HLADÍK, Jaroslav. *Příprava směsi* [online]. Vystaveno 2008 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.h-diag.cz/news/priprava-smesy/>
- [8] JANCO, Marcel. *Vstrekovacia sústava dieselového motora – združený vstrekovač čerpadlo tryska – PD (Pumpe-Düse)* [online]. Vystaveno 2012 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/vstrekovacia-sustava-diesloveho-motora-cerpadlo-tryska-pd-pumpe-duse>
- [9] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory* [online]. Vystaveno 2012 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://oppa-smad.tf.czu.cz/?q=sm>
- [10] *Technická příručka BOSCH – Rotační vstřikovací čerpadlo s radiálními písty VR (VP44)*, Praha: Robert Bosch odbytová s.r.o., 2000. [PDF dokument]

[11] Směrnice 2009/28/ES, 2009. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES.*

[12] Směrnice 2009/30/ES. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/30/ES ze dne 23. dubna 2009, kterou se mění směrnice 98/70/ES, pokud jde o specifikaci benzínu, motorové nafty a plynových olejů, zavedení mechanismu pro sledování a snížení emisí skleníkových plynů, a směrnice Rady 1999/32/ES, pokud jde o specifikaci paliva používaného plavidly vnitrozemské plavby, a kterou se ruší směrnice 93/12/EHS*

[13] Zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů.

[14] Vyhláška č. 133/2010 Sb. O požadavcích na pohonné hmoty, o způsobu sledování a monitorování složení a jakosti pohonných hmot a o jejich evidenci.

[15] Zákon č. 353/2003 Sb. O spotřebních daních.

[16] Zákon č. 201/2012 Sb. O ochraně ovzduší.

[17] Zákon č. 56/2001 Sb. Ze dne 10. ledna 2001 o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb.

[18] ČSN EN 590, 2014. *Motorová paliva – Motorové nafty – Technické požadavky a metody zkoušení.* Praha: Český normalizační institut.

[19] ČSN 65 6516, 2013. *Motorová paliva – Řepkový olej pro spalovací motory na rostlinné oleje – Technické požadavky a metody zkoušení.* Praha: Český normalizační institut.

[20] ČSN 65 6508, 2013. *Motorová paliva – Směsné motorové nafty obsahující methylestery mastných kyselin (FAME) – Technické požadavky a metody zkoušení.* Praha: Český normalizační institut.

- [21] ČSN EN 14214+A1, 2014. *Kapaln  ropn  výrobky – Methylestery mastných kyselin (FAME) pro vzn tov  motory a topn  oleje – Technick  požadavky a metody zkou en .* Praha:  esk  normalizační institut.
- [22] BOSCH, Robert. *Vst řikov n  Common Rail: pokro il  technologie pro dieslov  motory* [online]. Vystaveno 2013 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: https://cz.bosch-automotive.com/cs/parts_and_accessories/engine_systems_1/diesel/common_rail_injection/common_rail_diesel_motorsys_parts
- [23] Autonet. *VI. Palivov  soustava s tlakov m zásobníkem Common Rail* [online]. Vystaveno 2011 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://net-auto.cz/moodle/mod/resource/view.php?id=221>
- [24] CCS. *Vývoj cen pohonných hmot* [online]. Vystaveno 2017 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.ccs.cz/phm>
- [25] DLG e.V. *Zetor 8641 Forterra* [online]. Vystaveno 2003 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.dlg.org/zetor-archiv.html>
- [26] MAHA ZW 500 – Zapfwellen-Leistungspr fstand – Original-Betriebsanleitung. Haldenwang 2012. BA060801.de.
- [27] HALDERMAN, James D., LINDER, Jim. *Automotive fuel and emissions control systems*. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, c2012. ISBN 978-0-13-254292-0.
- [28] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6461-5.
- [29] MAHA MZW 300 / ZW 500 – Auswerte-Software – Original Betriebsanleitung. Haldenwang 2012. BA061101-de.
- [30] Investice do rozvoje vzdělání, *Palivov  soustavy vznětových motorů* [online]. Vystaveno 2014 [cit.2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/SIV/Motory%20-%20vst%C5%99ik.syst%C3%A9my%20vzn%C4%9Bt.motor%C5%AF-UT.pdf>

- [31] NET-AUTO.CZ. *Palivová soustava s řadovým vstřikovacím čerpadlem* [online]. Vystaveno 2011 [cit.2017-03-10]. Dostupné z: <http://net-auto.cz/moodle/mod/resource/view.php?id=216>
- [32] ŠEVČÍKOVÁ, Marta. *Palivová soustava vznětových motorů. Mechanické vstřikování nafty řadovým vstřikovacím čerpadlem. Mechanické vstřikování nafty rotačním vstřikovacím čerpadlem* [online]. Vystaveno 2016 [cit.2017-03-10]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2355992/>
- [33] LAURIN, Josef. *Rostlinné oleje jako motorová paliva* [online]. Vystaveno 2008 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rostlinne-oleje-jako-motorova-paliva>
- [34] SLADKÝ, Václav: Biobutanol – vhodnější náhrada benzínu. *Biom.cz* [online]. 2007-07-04 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biobutanol-vhodnejsi-nahrada-benzinu>
- [35] HÖNIG, Vladimír et al. *Využití biobutanolu ve vznětových motorech a jeho vliv na parametry motorové nafty* [online]. Vystaveno 2015 [cit.2017-03-10]. Dostupné z: www.chemicke-listy.cz/docs/full/2015_09_722-725.pdf

8. Seznam zkratek

ČR – Česká Republika

CO₂ – oxid uhličitý

kWh – kilowatthodina

g – gram

l - litr

bar – jednotka tlaku

PD – Pumpe Düse

MPa – jednotka tlaku

EDC – Electronic Diesel Control

VE – typ čerpadla

UIS – Unit Injektor System

UPS – Unit Pump System

CR – Common Rail

CC – cetanové číslo

ot/min. – otáčky za minutu

ES – evropské směrnice

ILUC – Indirect Land Use Change

PHM – pohonné hmoty

ČSN – Česká státní norma

FAME – estery mastných kyselin (Fatty Acid Methyl Ester)

MVOCH – měření vnější otáčkové charakteristiky

MN – motorová nafta

DIN – Deutsches Institut für Normung

SAE – Society of automotive engineers

JIS – Japanese industrial standard

ϑ – teplota nasávaného vzduchu

p_F – tlak vlhkého vzduchu

EHK – Evropská hospodářská komise

SMN – směšná motorová nafta

SO – slunečnicový olej

BUT - butanol

NTB – notebook (laptop)

°C – stupně celsia

kg – kilogram

m³ – kilogram na metr krychlový

MJ - megajoule

ZK – zkouška

Mh – motohodina

Nm – Newtonmetr

kW - kilowatt

hPa - hektopascal

P_{mot} – výkon na vývodovém hřídeli

M_{mot} – točivý moment na vývodovém hřídeli

9. Seznam obrázků

- Obrázek 1 Spalovací prostory motorů s přímým vstřikem paliva
- Obrázek 2 Zjednodušená palivová soustava (celek)
- Obrázek 3 Předehřívání paliva tepelným výměníkem z okruhu chladicí soustavy
- Obrázek 4 Palivová soustava s řadovým vstřikovacím čerpadlem
- Obrázek 5 Jednotka řadového vstřikovacího čerpadla
- Obrázek 6 Schéma elementu čerpadla se zdvihovým šoupátkem
- Obrázek 7 Rotační vstřikovací čerpadlo (radiální) s elektronickou regulací (EDC)
- Obrázek 8 Rotační vstřikovací čerpadlo s axiálním pístem
- Obrázek 9 Rotační vstřikovací čerpadlo s radiálními písty
- Obrázek 10 Čerpadlo tryska v hlavě válce
- Obrázek 11 UPS – sdružený vstřikovací systém
- Obrázek 12 Základní komponenty systému Common Rail
- Obrázek 13 Zetor Forterra 8641
- Obrázek 14 Přepouštěcí zařízení - ČZU
- Obrázek 15 Brzda značky MAHA - ČZU

10. Seznam tabulek

Tabulka 1	Požadavky na spalovací motory podle různých hledisek
Tabulka 2	Limity dle norem
Tabulka 3	Technické parametry zkušebny výkonu MAHA ZW 500
Tabulka 4	Základní parametry zkoušených palivových směsí
Tabulka 5	Vnější charakteristika motoru ZETOR 100 % MN
Tabulka 6	Vnější charakteristika motoru ZETOR 95 % MN a 5 % SO
Tabulka 7	Vnější charakteristika motoru ZETOR 80 % MN a 20 % SO
Tabulka 8	Vnější charakteristika motoru ZETOR 70 % MN a 20 % SO a 10 % BUT
Tabulka 9	Vnější charakteristika motoru ZETOR 60 % MN a 20 % SO a 20 % BUT
Tabulka 10	Souhrn všech základních naměřených parametrů u všech palivových směsí
Tabulka 11	Naměřené a přepočtené výkony traktorového motoru k MN
Tabulka 12	Ekonomický rozbor všech palivových směsí

11. Seznam grafů

- Graf 1 Vnější charakteristika při užití 100 % motorové nafty
- Graf 2 Vnější charakteristika motoru ZETOR 95 % MN a 5 % slunečnicového oleje
- Graf 3 Vnější charakteristika při užití 80 % MN a 20 % slunečnicového oleje
- Graf 4 Vnější charakteristika při užití 70 % MN, 20 % SO a 10 % butanolu
- Graf 5 Vnější charakteristika při užití 60 % MN, 20 % SO a 20 % butanolu
- Graf 6 Výkonové křivky všech porovnávaných směsí
- Graf 7 Křivky točivého momentu pro všechny porovnávané směsi

12. Seznam příloh

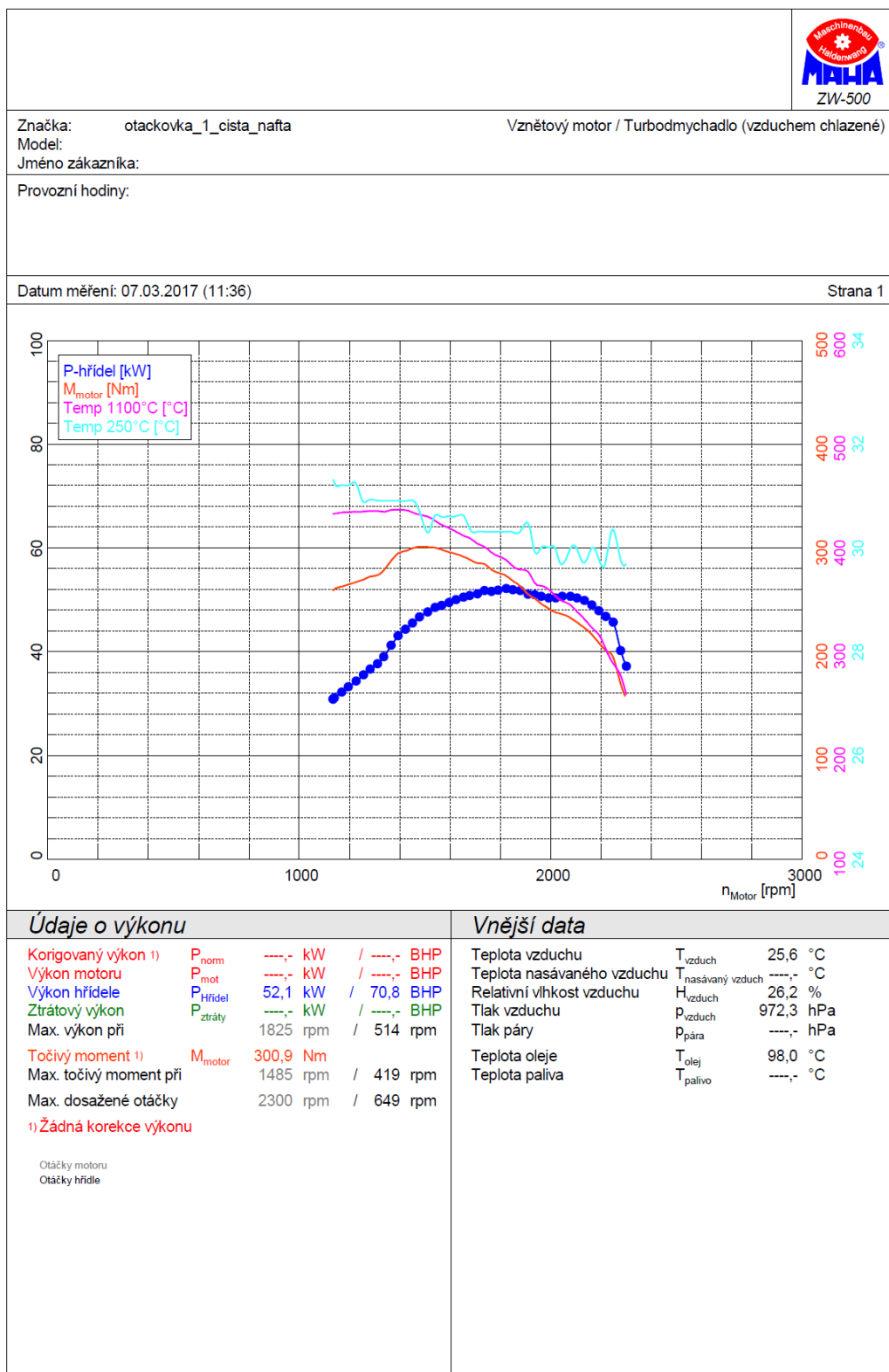
Příloha 1	Technické parametry traktoru Zetor Forterra 8641
Příloha 2	Vnější otáčková charakteristika MN včetně naměřených hodnot
Příloha 3	VOCH - MN + 5 % SO včetně naměřených hodnot
Příloha 4	VOCH - MN + 20 % SO včetně naměřených hodnot
Příloha 5	VOCH - MN + 10 % BUT + 20 % SO včetně naměřených hodnot
Příloha 6	VOCH - MN + 20 % BUT + 20 % SO včetně naměřených hodnot

Příloha 1 – Technické parametry traktoru Zetor Forterra 8641

Vybrané parametry traktoru Zetor Forterra 8641

Parametr	Typ motoru
	Zetor 1204
Počet válců	4
Vrtání x zdvih (mm)	105x120
Objem válců (cm ³)	4156
Způsob plnění válců	TI
Jmenovitý výkon (kW)	60
Max. točivý moment (Nm)	351
Spotřeba při uvedeném výkonu (g.kW ⁻¹ .h ⁻¹)	253
Převýšení kr. mom.(%)	35
Jmen.spotřeba (g/cm ³)	247
Max. přeběhové otáčky (ot/min ⁻¹)	2460
Volnoběžné otáčky (ot/min ⁻¹)	750±25
Typ vstřikovacího čerpadla	PP4M10P1f3423
Typ trysky	DOP 150 S 425-4133
Náplň oleje (dm ³)	11
Délka (mm)	971
Šířka (mm)	732
Výška (mm)	846

Příloha 2 – Vnější otáčková charakteristika MN včetně naměřených hodnot





Značka: otackovka_1_cista_nafta Vznětový motor / Turbodomčadlo (vzduchem chlazené)
 Model:
 Jméno zákaznřka:

Provoznř hodiny:

Datum měření: 07.03.2017 (11:36)

Strana 2

Tabulka naměřených hodnot

n_{Motor} [rpm]	$n_{Hřidel}$ [rpm]	$P_{Hřidel}$ [kW]	P_{mot} [kW]	P_{norm} [kW]	$M_{Hřid}$ [Nm]	M_{moto} [Nm]	Temp 11 [°C]	Temp 25 [°C]	Druck 1 [bar]	Druck 2 [bar]	Analog	Analog	Analog
2301	649	37,1	37,1	37,1	544,9	153,8	257,7	29,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2279	643	40,1	40,1	40,1	594,9	167,9	275,9	29,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2249	635	45,5	45,5	45,5	684,8	193,3	287,8	30,3	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
2219	626	46,7	46,7	46,7	712,4	201,1	302,2	29,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2191	619	47,8	47,8	47,8	737,3	208,1	315,8	29,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2164	611	48,9	48,9	48,9	764,7	215,8	322,5	30,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2134	602	49,8	49,8	49,8	788,7	222,6	330,9	29,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2104	594	50,2	50,2	50,2	807,3	227,9	338,1	30,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2079	587	50,5	50,5	50,5	822,1	232,0	344,4	30,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2047	578	50,5	50,5	50,5	835,1	235,7	348,3	29,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2019	570	50,2	50,2	50,2	841,8	237,6	353,2	30,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1991	562	50,3	50,3	50,3	853,7	241,0	359,5	30,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1963	554	50,5	50,5	50,5	870,8	245,8	363,0	30,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1937	547	50,9	50,9	50,9	888,4	250,7	365,6	29,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1910	539	51,0	51,0	51,0	902,9	254,8	376,5	30,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1880	531	51,7	51,7	51,7	930,1	262,5	378,5	30,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1849	522	51,9	51,9	51,9	949,0	267,8	382,1	30,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1824	515	52,0	52,0	52,0	965,7	272,6	387,6	30,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1792	506	51,7	51,7	51,7	976,3	275,6	391,6	30,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1765	498	51,5	51,5	51,5	987,4	278,7	395,1	30,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1738	490	51,6	51,6	51,6	1005,3	283,7	400,4	30,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1709	482	51,0	51,0	51,0	1009,7	285,0	403,8	30,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1678	474	50,7	50,7	50,7	1021,6	288,3	408,8	30,4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1654	467	50,4	50,4	50,4	1030,9	291,0	411,3	30,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1624	458	49,9	49,9	49,9	1040,5	293,7	415,2	30,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1596	450	49,4	49,4	49,4	1047,1	295,5	418,6	30,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1566	442	48,8	48,8	48,8	1055,0	297,8	421,8	30,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1541	435	48,4	48,4	48,4	1062,2	299,8	425,7	30,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1511	427	47,6	47,6	47,6	1064,6	300,5	429,7	30,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1479	418	46,6	46,6	46,6	1065,7	300,8	431,5	30,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1451	409	45,4	45,4	45,4	1059,8	299,1	433,8	30,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1423	402	44,2	44,2	44,2	1051,4	296,8	436,0	30,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1393	393	42,9	42,9	42,9	1042,9	294,3	436,2	30,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1367	386	41,1	41,1	41,1	1018,5	287,5	436,1	30,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1337	377	39,0	39,0	39,0	985,9	278,3	434,5	30,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1311	370	37,6	37,6	37,6	968,9	273,5	435,1	30,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1283	362	36,5	36,5	36,5	963,0	271,8	435,2	30,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1256	354	35,4	35,4	35,4	953,4	269,1	434,6	30,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1226	346	34,2	34,2	34,2	944,6	266,6	434,5	31,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1196	338	33,1	33,1	33,1	937,1	264,5	433,9	31,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1170	330	32,1	32,1	32,1	929,5	262,4	433,7	31,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1140	322	31,0	31,0	31,0	920,6	259,8	432,6	31,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1135	320	30,8	30,8	30,8	917,0	258,8	432,5	31,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Minimální hodnota Maximální hodnota

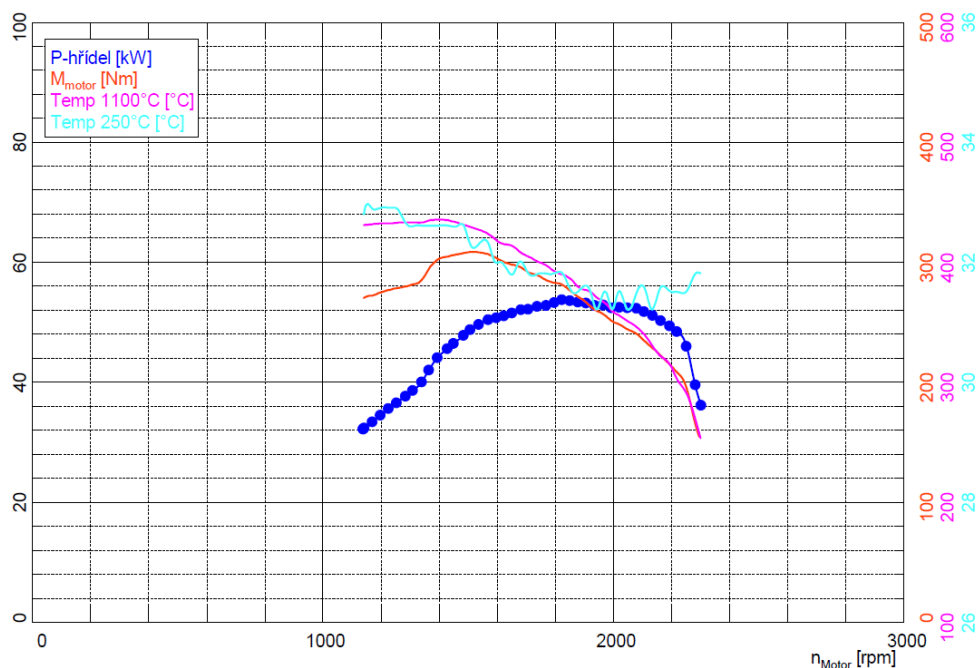
Příloha 3 – VOCH – MN + 5 % SO včetně naměřených hodnot



Značka: otackovka_5slunolej Vzňetový motor / Turbodomýchadlo (vzduchem chlazené)
 Model:
 Jméno zákazníka:

Provozní hodiny:

Datum měření: 14.03.2017 (10:43) Strana 1



Údaje o výkonu

Korigovaný výkon ¹⁾	P_{norm}	---,- kW	/	---,- BHP
Výkon motoru	P_{mot}	---,- kW	/	---,- BHP
Výkon hřídele	$P_{hřídel}$	53,6 kW	/	72,9 BHP
Ztrátový výkon	$P_{ztráty}$	---,- kW	/	---,- BHP
Max. výkon při		1830 rpm	/	516 rpm
Točivý moment ¹⁾	M_{motor}	308,2 Nm		
Max. točivý moment při		1515 rpm	/	427 rpm
Max. dosažené otáčky		2300 rpm	/	649 rpm

¹⁾ Žádná korekce výkonu

Otáčky motoru
 Otáčky hřídele

Vnější data

Teplota vzduchu	T_{vzduch}	28,8 °C
Teplota nasávaného vzduchu	$T_{nasávaný\ vzduch}$	---,- °C
Relativní vlhkost vzduchu	H_{vzduch}	18,3 %
Tlak vzduchu	P_{vzduch}	992,0 hPa
Tlak páry	$P_{pára}$	---,- hPa
Teplota oleje	T_{olej}	96,1 °C
Teplota paliva	T_{palivo}	---,- °C



Značka: otackovka_5slunolej Vznětový motor / Turbodomčadlo (vzduchem chlazené)
 Model:
 Jméno zákazníka:

Provozní hodiny:

Datum měření: 14.03.2017 (10:43)

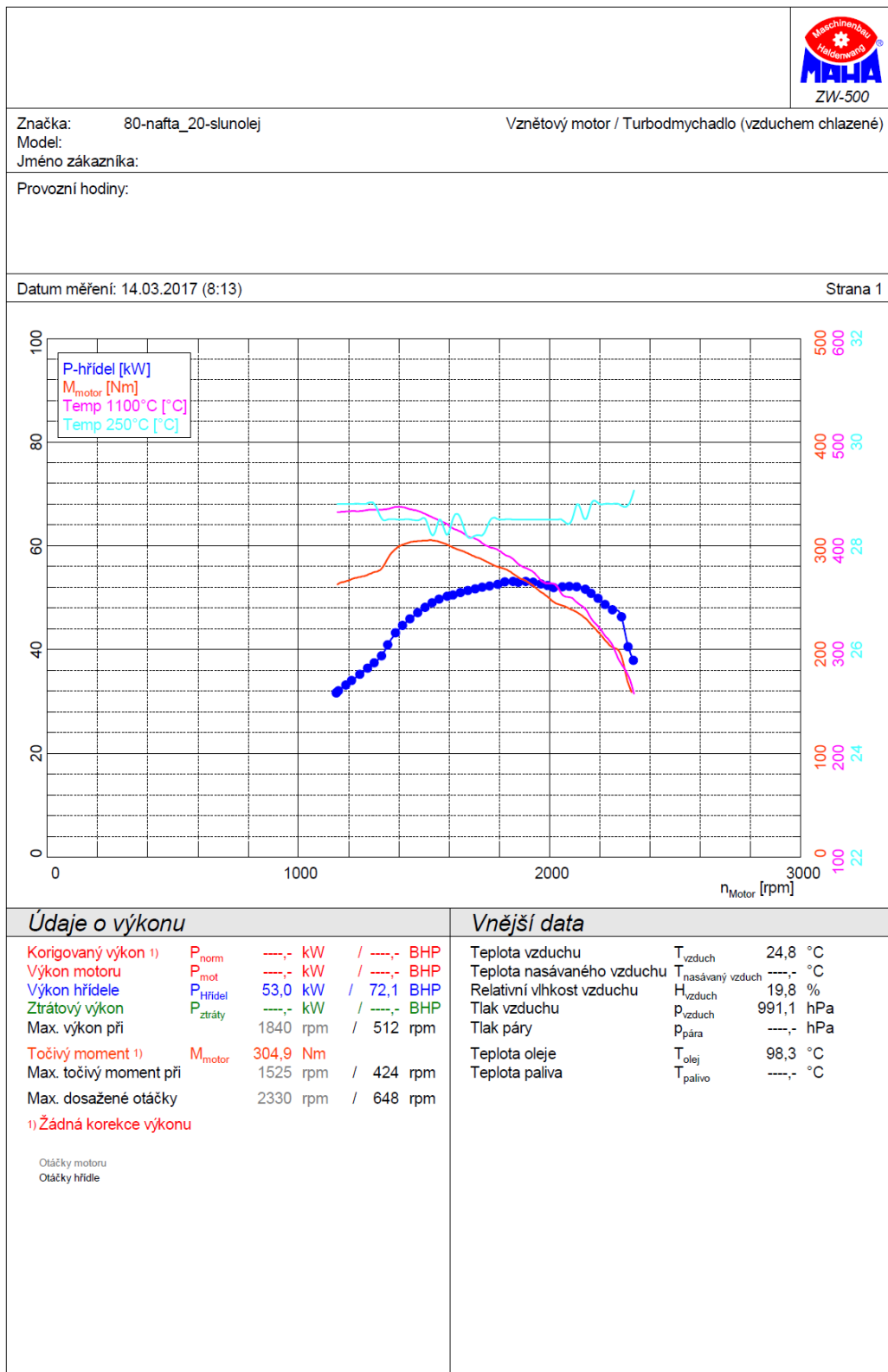
Strana 2

Tabulka naměřených hodnot

n _{Motor} [rpm]	n _{Hřidel} [rpm]	P _{Hřidel} [kW]	P _{mot} [kW]	P _{norm} [kW]	M _{hřid} [Nm]	M _{moto} [Nm]	Temp 11 [°C]	Temp 25 [°C]	Druck 1 [bar]	Druck 2 [bar]	Analog	Analog	Analog
2301	650	36,1	36,0	36,0	529,7	149,5	251,5	31,8	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
2281	644	39,5	39,5	39,5	586,0	165,4	269,6	31,8	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
2251	635	45,9	45,9	45,9	689,6	194,6	290,2	31,5	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
2218	626	48,3	48,3	48,3	737,4	208,1	302,5	31,5	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
2193	619	49,3	49,3	49,3	760,2	214,6	314,6	31,5	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
2162	610	50,2	50,2	50,2	785,2	221,6	321,2	31,6	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
2134	602	51,0	51,0	51,0	808,5	228,2	330,0	31,2	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
2105	594	51,6	51,6	51,6	829,9	234,2	339,6	31,6	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
2079	587	52,2	52,2	52,2	850,0	239,9	345,6	31,5	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
2047	578	52,3	52,3	52,3	864,2	243,9	350,9	31,2	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
2020	570	52,4	52,4	52,4	877,7	247,7	355,1	31,5	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1993	562	52,3	52,3	52,3	888,6	250,8	359,8	31,2	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
1964	554	52,8	52,8	52,8	909,0	256,6	366,9	31,5	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1934	546	52,7	52,7	52,7	922,1	260,2	371,9	31,3	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1906	538	53,1	53,1	53,1	942,3	265,9	376,3	31,6	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1878	530	53,3	53,3	53,3	960,0	270,9	379,3	31,5	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
1850	522	53,5	53,5	53,5	978,0	276,0	386,2	31,6	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
1821	514	53,6	53,6	53,6	995,7	281,0	389,5	31,8	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1795	507	53,1	53,1	53,1	1001,3	282,6	392,3	31,8	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
1767	499	52,7	52,7	52,7	1009,1	284,8	397,1	31,8	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
1737	490	52,5	52,5	52,5	1023,3	288,8	400,4	31,8	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1707	482	52,1	52,1	52,1	1032,1	291,3	404,3	31,8	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1681	474	52,0	52,0	52,0	1046,6	295,4	407,7	32,0	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1651	466	51,4	51,4	51,4	1054,4	297,6	413,2	31,8	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1623	458	51,0	51,0	51,0	1062,2	299,8	414,7	31,9	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1596	450	50,7	50,7	50,7	1074,0	303,1	418,2	32,0	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1568	443	50,3	50,3	50,3	1084,8	306,2	423,2	32,3	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1537	434	49,5	49,5	49,5	1090,7	307,8	426,6	32,3	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1507	425	48,6	48,6	48,6	1091,8	308,1	429,1	32,3	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
1483	419	47,7	47,7	47,7	1088,3	307,1	431,0	32,6	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1450	409	46,4	46,4	46,4	1082,6	305,5	433,4	32,6	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1428	403	45,5	45,5	45,5	1078,1	304,3	434,7	32,6	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1393	393	44,0	44,0	44,0	1068,6	301,6	435,0	32,6	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1364	385	41,9	41,9	41,9	1039,7	293,5	434,3	32,6	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1340	378	39,9	39,9	39,9	1008,4	284,6	432,7	32,6	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1309	369	38,5	38,5	38,5	995,8	281,1	432,7	32,6	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1284	362	37,6	37,6	37,6	990,1	279,4	432,7	32,7	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
1253	354	36,5	36,5	36,5	984,8	278,0	432,4	32,9	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
1225	346	35,5	35,5	35,5	979,4	276,4	431,9	32,9	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
1197	338	34,4	34,4	34,4	971,7	274,3	431,8	32,9	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1169	330	33,3	33,3	33,3	963,4	271,9	431,3	32,9	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1141	322	32,3	32,3	32,3	956,7	270,0	430,5	32,8	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
1138	321	32,1	32,1	32,1	954,8	269,5	430,4	32,7	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000

Minimální hodnota Maximální hodnota

Příloha 4 – VOCH – MN + 20 % SO včetně naměřených hodnot





Značka: 80-nafta_20-slnolej Vznětový motor / Turbodomčadlo (vzduchem chlazené)
 Model:
 Jméno zákazníka:

Provozní hodiny:

Datum měření: 14.03.2017 (8:13)

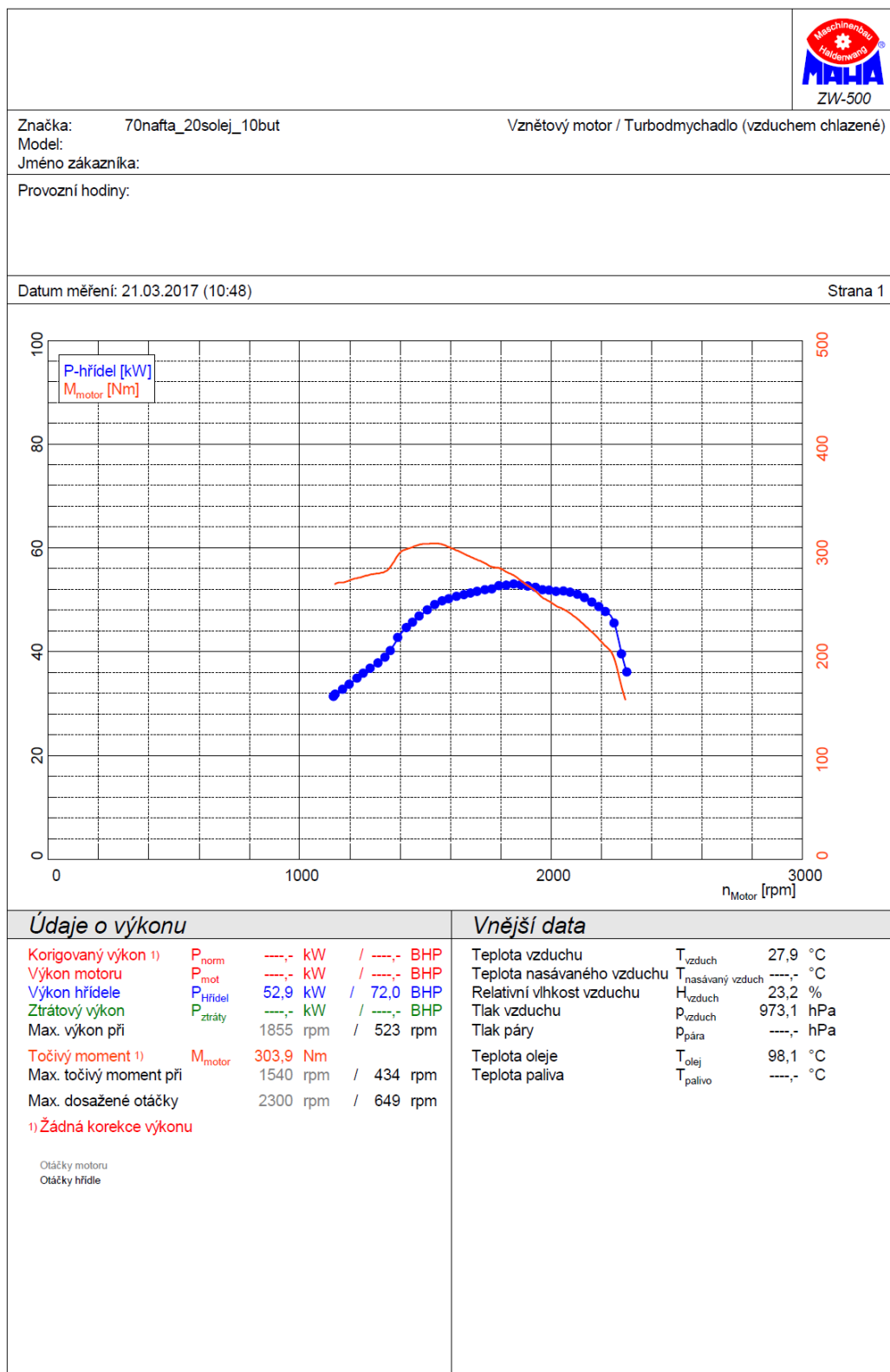
Strana 2

Tabulka naměřených hodnot

n_{Motor} [rpm]	$n_{Hřidel}$ [rpm]	$P_{Hřidel}$ [kW]	P_{mot} [kW]	P_{norm} [kW]	$M_{Hřid}$ [Nm]	M_{moto} [Nm]	Temp 11 [°C]	Temp 25 [°C]	Druck 1 [bar]	Druck 2 [bar]	Analog	Analog	Analog
2333	649	37,8	37,6	37,6	553,8	154,0	258,5	29,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2313	643	40,5	40,5	40,5	600,6	167,0	274,3	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2286	636	46,1	46,1	46,1	692,9	192,7	285,3	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2251	626	47,5	47,5	47,5	724,8	201,6	303,0	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2221	618	48,5	48,5	48,5	750,3	208,7	312,9	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2193	610	49,7	49,7	49,7	778,7	216,6	322,1	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2166	602	50,7	50,7	50,7	803,4	223,4	329,1	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2143	596	51,5	51,5	51,5	824,7	229,3	338,2	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2109	586	52,0	52,0	52,0	846,7	235,5	345,0	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2079	578	52,0	52,0	52,0	859,6	239,0	350,0	28,4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2051	571	52,0	52,0	52,0	870,2	242,0	352,3	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2017	561	51,8	51,8	51,8	881,8	245,2	362,7	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1993	554	52,2	52,2	52,2	899,4	250,1	363,4	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1966	547	52,5	52,5	52,5	916,9	255,0	366,5	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1935	538	52,9	52,9	52,9	938,2	260,9	374,2	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1905	530	53,0	53,0	53,0	955,3	265,7	378,1	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1877	522	52,9	52,9	52,9	967,6	269,1	381,8	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1854	516	53,0	53,0	53,0	981,2	272,9	387,0	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1822	507	52,9	52,9	52,9	997,3	277,3	390,9	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1795	499	52,5	52,5	52,5	1003,7	279,1	395,5	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1762	490	52,2	52,2	52,2	1016,7	282,7	398,3	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1732	482	51,9	51,9	51,9	1029,4	286,3	402,0	28,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1704	474	51,6	51,6	51,6	1039,4	289,0	406,5	28,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1675	466	51,3	51,3	51,3	1050,8	292,2	408,8	28,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1646	458	50,9	50,9	50,9	1061,3	295,1	413,1	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1616	449	50,4	50,4	50,4	1071,2	297,9	416,3	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1593	443	50,1	50,1	50,1	1080,7	300,5	420,3	28,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1561	434	49,6	49,6	49,6	1091,0	303,4	423,9	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1533	426	48,9	48,9	48,9	1096,2	304,8	427,2	28,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1505	418	48,0	48,0	48,0	1095,4	304,6	430,2	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1475	410	47,0	47,0	47,0	1093,7	304,2	433,2	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1444	402	45,8	45,8	45,8	1089,5	303,0	434,9	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1415	394	44,6	44,6	44,6	1081,2	300,7	436,8	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1387	386	43,1	43,1	43,1	1066,8	296,7	437,0	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1357	377	40,9	40,9	40,9	1033,9	287,5	435,1	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1331	370	38,7	38,7	38,7	998,5	277,7	434,5	28,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1302	362	37,4	37,4	37,4	985,7	274,1	434,2	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1276	355	36,3	36,3	36,3	976,7	271,6	434,1	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1245	346	35,1	35,1	35,1	969,1	269,5	432,9	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1212	337	34,0	34,0	34,0	961,8	267,5	433,0	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1189	331	33,1	33,1	33,1	954,2	265,4	432,5	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1159	322	31,9	31,9	31,9	945,9	263,1	432,1	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1152	320	31,6	31,6	31,6	941,2	261,7	432,1	28,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Minimální hodnota Maximální hodnota

Příloha 5 – VOCH – MN + 20 % SO + 10 % BUT včetně naměřených hodnot



Příloha 6 – VOCH – MN + 20 % SO + 20 % BUT včetně naměřených hodnot

