

THE INFLUENCE OF AUTOMATIC SHIFTING ON TRACTOR ENGINE LOAD IN THE TRANSPORT

VLIV AUTOMATICKÉHO ŘAZENÍ NA ZATÍŽENÍ TRAKTOROVÉHO MOTORU V DOPRAVĚ

Preč M., Sedlák P., Bauer F., Čupera J., Šmerda T.

Ústav techniky a automobilové dopravy, Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

E-mail: xprec@node.mendelu.cz, sedlakp@mendelu.cz

ABSTRACT

The paper shows the influence of shifting method on engine load as well as transportation performance of a tractor used in transport. The measuring was realized with CASE IH Puma 195 tractor in a set with the Anaburger HTS 22.79 trailer. Data acquisition was based on the CAN-bus records. The main parameters consist of: fuel consumption per hour, tractor speed, engine speed, engine load, time and so on. The loop rate was preset to 200 miliseconds (5 S/s) and the outputs were stored into harddrive. There were taken some tests before road measurements, e.g. full speed characteristic. On the basis of the test we could built analyses of major transportation indicators together with specific consumption plots. As can be seen from the results the best output can be achieved with following settings: automatic shifting allows 30 % decreasing of engine speed before gear change. Manual shifting can bring similar results but it depends on operator skills. Differences among the results are notable especially when upwards drive or in the case the engine is under load.

Key words: engine load, full speed curve, set performance, transport

ÚVOD

V současné době pořád zůstává nejdůležitější funkcí traktoru jako mobilního energetického prostředku využití při polních operacích. V širokém měřítku se také využívá jako zdroj energie v lesnictví. Hraje však i důležitou roli ve funkci tahače při přepravě nejrůznějších rostlinných a živočišných produktů, ale i ostatních materiálů. Především v menších zemědělských podnicích a u drobných soukromých zemědělců by pořízení nákladního automobilu bylo příliš finančně zatěžující a vzhledem k množství přepravované hmoty i neekonomické. S neustále se zvyšující spotřebou pohonných hmot, a s tím spojeným faktem zmenšování světových zásob surovin potřebných pro výrobu nafty, roste jejich cena. Jednou z cest snižování nákladů v zemědělství je snížení spotřeby pohonných hmot. Správné zatěžování traktorového motoru při práci vede k úspoře paliva, což se projeví v ekonomice provozu a také ve snížení emisí výfukových plynů a tím i negativního dopadu na životní prostředí. Pro zajištění ekonomického provozu motoru je důležitá zejména volba soupravy v závislosti na vlastnostech terénu, ve kterém se daná souprava pohybuje, a ovládání samotného traktoru při jízdě. Vhodným řazením převodových stupňů je možné motor udržovat v ekonomické oblasti jeho práce. Předložený článek zkoumá zatížení traktorového motoru v dopravě, a tím tedy i vliv na spotřebu a emise výfukových plynů, při různých režimech řazení převodových stupňů.

MATERIÁL A METODIKA

Pro měření byla použita souprava složená z traktoru CASE IH Puma 195 a návěsu Annaburger HTS 22.79. V tab. 1 je uvedena základní charakteristika soupravy.

Tab. 1 – Technické parametry traktoru a návěsu

<i>Charakteristika traktoru</i>	
Výrobce	CASE IH
Typ	Puma 195
Rok výroby	2007
Motor	Vznětový s vysokotlakým elektronicky řízeným vstřikovacím systémem Common Rail, přepínaný turbodmychadlem s mezichladičem stlačeného vzduchu
Objem válců	6,728 dm ³
Počet válců	6
Max. výkon (bez navýšení)	145 kW (ECE R120)
Max. výkon (s navýšením)	172 kW (ECE R129)
Jmenovité otáčky	2200 min ⁻¹
Počet motohodin	54
Objem pal. nádrže	410 dm ³
Převodovka	Powershift s Power Shuttle, 19 x 6 převodových stupňů, pohon pojezdu 4K4

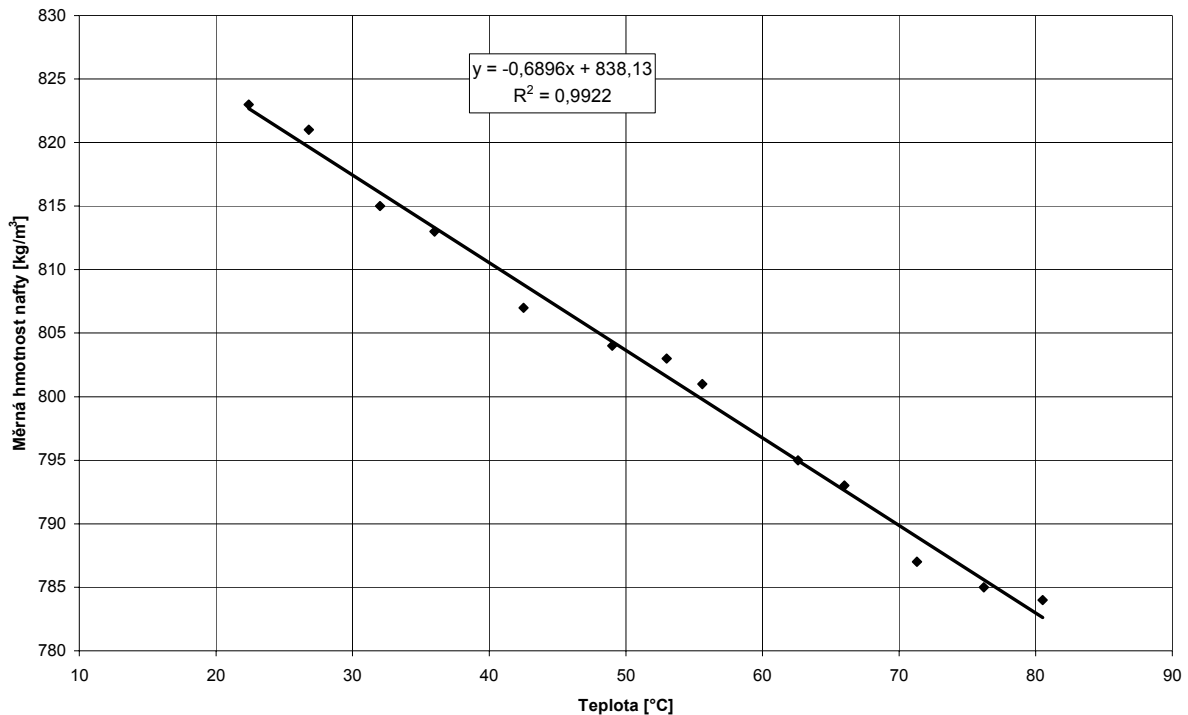
Přední pneumatiky	Continental Contract AC 65 velikost 540/65 R30
Zadní pneumatiky	Continental Contract AC 65 velikost 650/65 R42

Charakteristika návěsu

Výrobce	ANNABURGER
Typ	HTS22B.79
Rok výroby	2007
Počet náprav	2
Druh	podvozek s výměnnými nástavbami, nápravy BPW vlečné tandem, přední hydraulicky zvedatelná, brzdy WABCO vzduchotlaké dvoukruhové
Nástavba	korba s objemem 26,29 m ³

Motor traktoru je opatřen elektronickým řízením s navýšením výkonu při dopravě (při rychlosti nad 15 km.hod⁻¹) a při práci se stroji poháněnými přes vývodový hřídel.

Pro zjištění vlastností konkrétního typu motoru bylo nutné sestavit úplnou charakteristiku. Úplná, nebo také celková, charakteristika motoru je obecně diagram, který znázorňuje soustavou křivek, kterým přísluší určitá stálá hodnota, závislost sledované provozní veličiny na dvou veličinách základních vynesných na osy souřadnic. V našem případě měrné spotřeby paliva na otáčkách a točivém momentu motoru. Pro sestavení úplné charakteristiky motoru se traktor umístil na zkušebnu Ústavu základů techniky a automobilové dopravy MZLU v Brně. Zde se naměřila jmenovitá charakteristika s plnou dodávkou paliva, a deset částečných charakteristik při snížené dodávce paliva. Požadované hodnoty měrných spotřeb v jednotlivých regulátorových větví částečných charakteristik byly vypočteny pomocí polynomické interpolace. Při těchto zkouškách se zaznamenávaly hodnoty z čidel na zkušebně, tj. hodnoty točivého momentu motoru měřeného přes vývodový hřídel vířivým dynamometrem, otáček PTO, teploty nasávaného vzduchu a vzduchu za turbodmychadlem, tlaku a teploty vzduchu po průchodu mezichladičem na vstupu do sacího potrubí, teplota výfukových plynů odváděných do okolí, teplota v laboratoři, barometrický tlak a relativní vlhkost vzduchu. Dále se zaznamenávala data ze sběrnice CAN-BUS, jako je hodinová spotřeba paliva, teplota paliva, zatížení motoru, otáčky motoru, teplota chladící kapaliny, teplota oleje, tlak oleje a otáčky ventilátoru. Jelikož byla hodinová spotřeba paliva získána v objemových jednotkách, musela se hmotnostní spotřeba stanovit výpočtem s korekcí provedenou dle teploty vstříkovaného paliva. Pro stanovení závislosti měrné hmotnosti nafty na její teplotě, bylo provedeno laboratorní měření hustoty použitého paliva pomocí Moohrových vah. Naměřené hodnoty byly proloženy polynomem prvního stupně. Z regresní rovnice byla pro každou naměřenou teplotu vypočtena měrná hmotnost paliva. Výsledky laboratorního měření a vypočtená závislost je uvedena na obr. 1.



Obr. 1 – Závislost měrné hmotnosti nafty na teplotě

Při všech zkouškách na zkušební bylo kontrolováno ustálení parametrů motoru podle teploty mazacího oleje v motoru. Zkoušky probíhaly podle metodiky OECD. Z naměřených a vypočtených hodnot byly nakresleny úplné charakteristiky motoru, měřené jak bez navýšení, tak i s navýšením výkonu motoru, s vyznačením izochar stejných měrných spotřeb a izochar stejných zatížení motoru.

Terénní zkoušky pro získání hodnot zatížení motoru v dopravě byly měřeny na trase mezi obcemi Hustopeče a Nikolčice, která měřila 20,9 km. Souprava traktoru Case 195 Puma s návěsem Annaburger vyjížděla z Hustopečí a směřovala přes Velké Němčice a Křepice do Nikolčic, kde se otočila na náměstí a vrátila se stejnou trasou zpět do Hustopečí. Měřicí trasa byla rozdělena na 8 dílčích úseků, mezi obcemi, aby se vyloučily případné vlivy dopravní situace v obci a na křižovatkách. Výjimku tvořil pouze přejezd přes obec Křepice, ve které se projíždělo pouze po hlavní silnici. Měřenými úseky byly vzdálenosti mezi dopravními značkami obcí. Při jízdě po uvedené trase, byl k síti CAN traktoru připojen měřicí počítač, který snímal s frekvencí 5 Hz údaje ze snímačů traktoru. Ze sítě byly snímány stejné údaje jako při měření úplné charakteristiky v laboratoři. Na traktoru byla namontována také souprava GPS pro stanovení okamžité polohy, okamžité rychlosti a nadmořské výšky. Výškový profil trasy je znázorněn na obr. 2. Při zkouškách bylo porovnáváno automatické řazení převodových stupňů s manuálním ovládáním převodovky. U automatického řazení byly měřeny tři varianty nastavení poklesu otáček, 5%, 15% a 30 %. Nastavení poklesu 5% odpovídá práci motoru při maximálním výkonu, při nastavení poklesu otáček na 30 % pracuje motor v ekonomické oblasti s nižší spotřebou. Při ručním řazení se řidič snažil o dosažení maximální ekonomiky provozu, to znamená, že udržoval otáčky motoru, pokud to bylo

možné, v oblasti maximálního točivého momentu. Porovnání jednotlivých variant měření bylo provedeno podle dosažené měrné spotřeby paliva v mililitrech na vykonanou přepravní práci v tunokilometrech a podle dosahované výkonnosti dopravní soupravy.

Z naměřených hodnot byla vypočtena měrná spotřeba paliva v (ml/tkm) pro jednotlivé úseky a celou trasu pomocí vztahu:

$$Q_{\text{tkm}} = \frac{Q \cdot 10^3}{P_{\text{tkm}}} \quad [\text{ml/tkm}]$$

Kde: Q – celková spotřeba paliva na projetí úseku (trasy) (l)
 P_{tkm} – přepravní práce udávaná v tunokilometrech (tkm)

$$P_{\text{tkm}} = G_n \cdot L \quad [\text{tkm}]$$

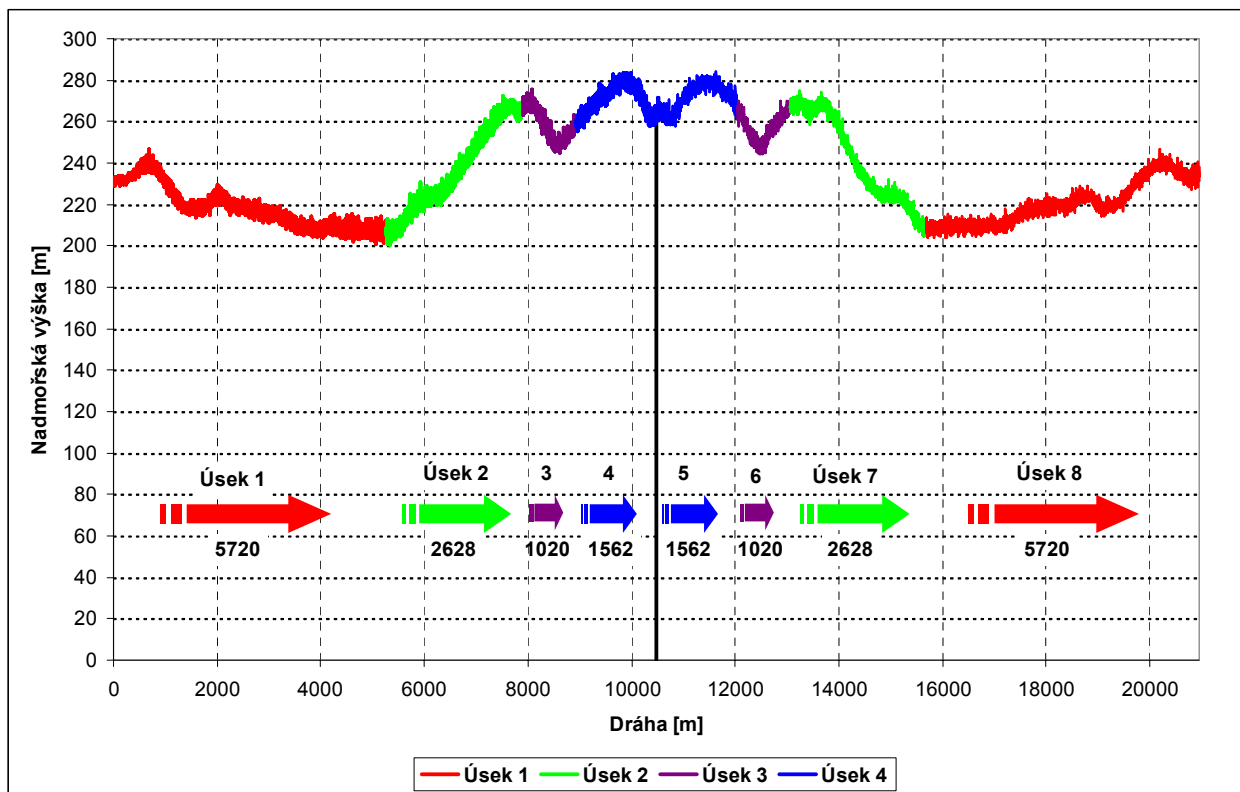
G_n – hmotnost přepravovaného nákladu (t)
 L – délka úseku (trasy) (km).

Výkonnost dopravní soupravy byla vypočtena opět pro jednotlivé úseky a pro celou délku projeté trasy, ze vztahu:

$$W_d = \frac{G_n}{T} \quad [\text{t/h}]$$

Kde: T – čas na projetí soupravy měřeným úsekem (celou trasou) (h)

Vypočtené hodnoty byly pro porovnání vyneseny do sloupcových grafů. Měření zatížení motoru během zkoušek, odečítané ze sítě CAN Bus traktoru, umožňuje provést vyhodnocení procenta zatížení traktorového motoru v dopravě do úplné charakteristiky zatížení sestavené z výsledků měření traktoru v laboratoři. Z grafu úplné charakteristiky s vyznačením procent času provozu motoru v jednotlivých oblastech otáček a zatížení je možno vyčíst, jak je motor během provozu zatěžován. Vyhodnocení je provedeno z četností jednotlivých zatížení ve zvoleném rozmezí otáček. Vypočtené hodnoty jsou vyneseny v procentech do příslušných oblastí úplné charakteristiky.

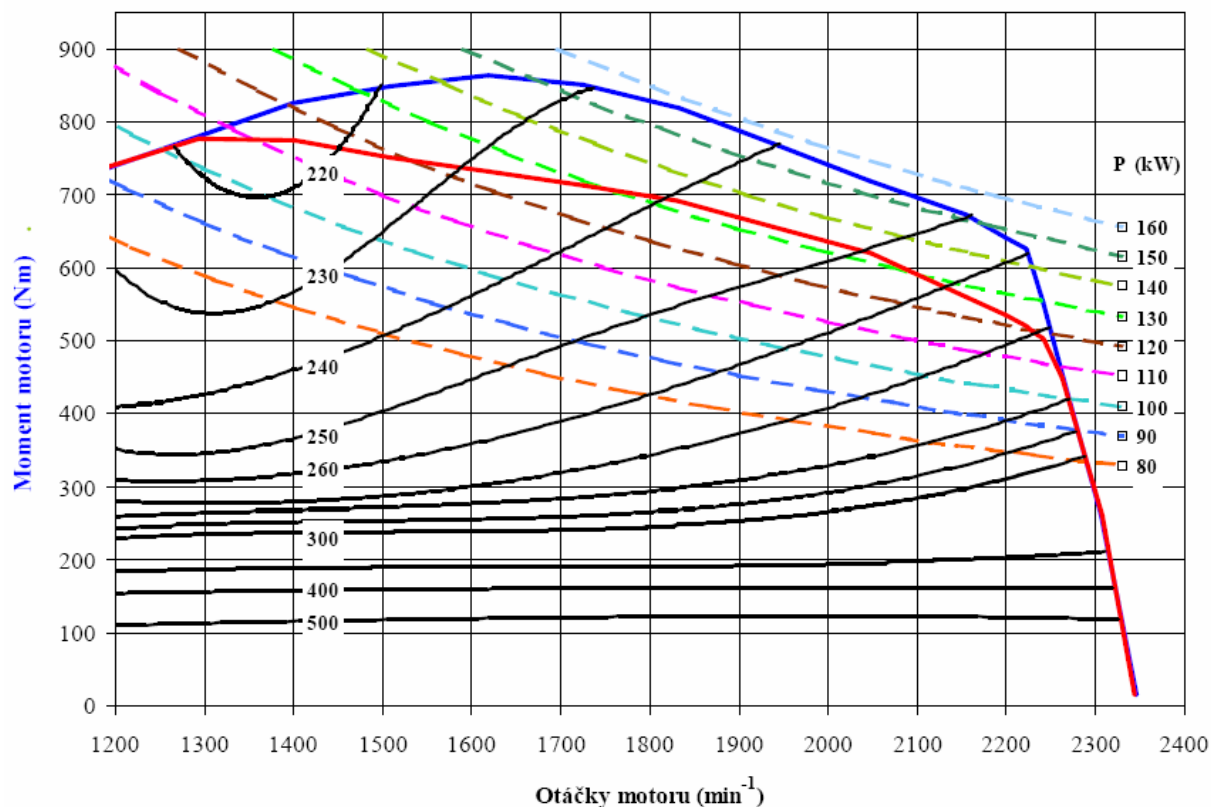


Obr. 2 – Výškový profil trasy s vyznačením jednotlivých úseků

VÝSLEDKY A DISKUZE

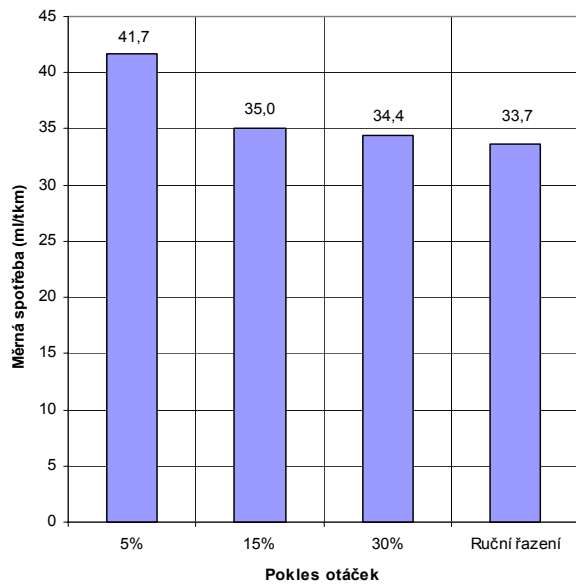
Naměřené a vypočítané hodnoty byly vyneseny do příslušných grafů a vzhledem k velkému množství variant bude v článku uveden pouze reprezentativní výběr.

Sestavená úplná charakteristika měrných spotřeb motoru traktoru CASE IH Puma 195 je uvedena na obr. 3. Červená křivka představuje jmenovitou charakteristiku motoru bez navýšení, modrá s navýšením. Z grafu vyplývá, že nejnižší měrná spotřeba je v rozmezí otáček $1300 - 1500 \text{ min}^{-1}$, jak při práci motoru s navýšením výkonu, tak i bez navýšení. Při dopravě je navýšení aktivováno, a proto motor dosahuje nejvyššího točivého momentu při $1600 - 1700$ otáčkách za minutu. S využitím minimálního převýšení točivého momentu se dá považovat za ekonomickou oblast rozmezí otáček $1600 - 1800 \text{ min}^{-1}$ při nejvyšších hodnotách zatížení, kdy se měrná spotřeba pohybuje okolo $230 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$.

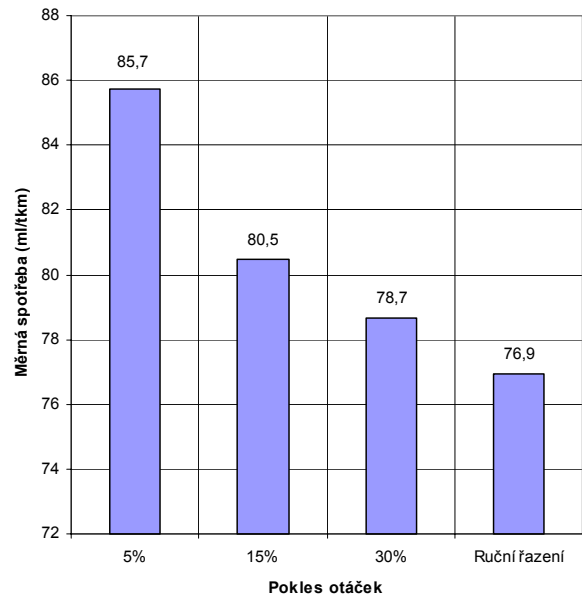


Obr. 3 – Úplná charakteristika motoru traktoru CASE IH Puma 195

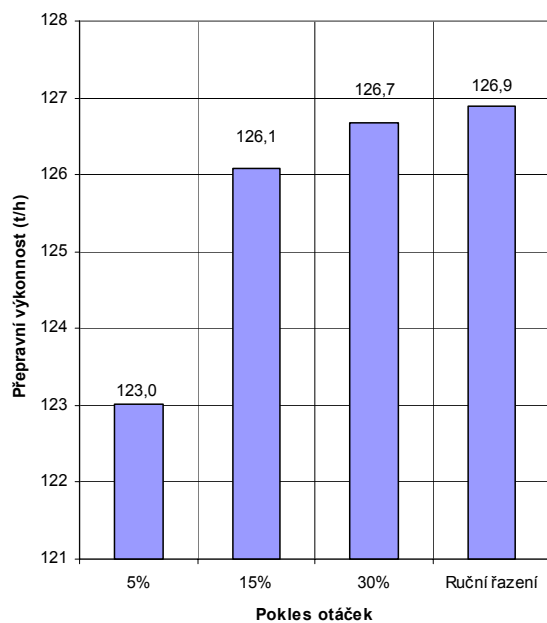
Pro posouzení vlivu způsobu řazení převodových stupňů na spotřebu paliva a výkonnost v dopravě bylo zkušeno několik variant řazení. Výsledky jsou vyneseny do sloupcových grafů měrných spotřeb a přepravních výkonností na obr. 4 až 7. Rozdíly mezi způsoby řazení se nejvýrazněji projeví při jízdě do svahu, nebo po rovině, kdy byl motor dostatečně zatížen. Na obr. 4 a 5 je uvedena měrná spotřeba při různém nastavení poklesu otáček a ručním řazením, při jízdě po rovině (úsek 1) a do svahu (úsek 2). Ve sloupcových grafech je na obr. 6 a 7 vynesena dosahovaná přepravní výkonnost. Měrné spotřeby při jízdě po rovině vykazují přibližně stejné hodnoty až na automatické řazení s poklesem otáček 5%, které odpovídá práci motoru v oblasti maximálního výkonu, kde je nárůst spotřeby o 7 ml naftu na tunokilometr, což při přepravě 15 tun materiálu na vzdálenosti 10 km zvyšuje spotřebu nafty o 1 litr. Co se týče přepravní výkonnosti, výsledky kopírují měrné spotřeby a opět vychází nejhůře řazení s poklesem otáček 5 %, kdy došlo ke snížení výkonnosti o necelá 3 %. Při jízdě do svahu jsou již patrné větší rozdíly mezi jednotlivými způsoby řazení.



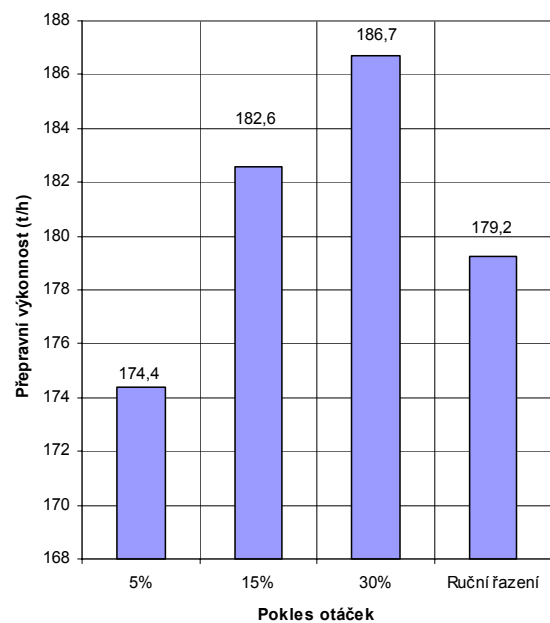
Obr. 4 – Měrná spotřeba při různém nastavení poklesu otáček a ručním řazení na úseku 1 (jízda po rovině)



Obr. 5 – Měrná spotřeba při různém nastavení poklesu otáček a ručním řazení na úseku 2 (jízda do svahu)



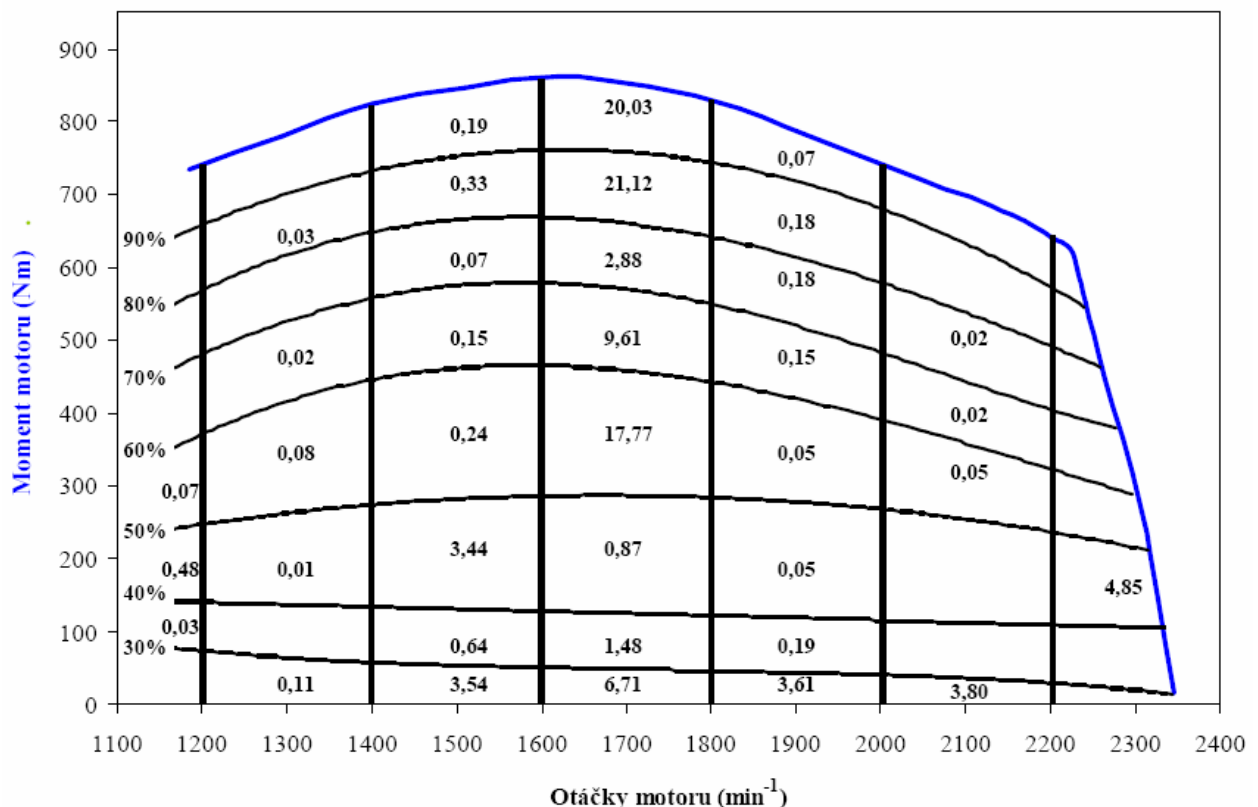
Obr. 6 – Přepravní výkonnost při různém nastavení poklesu otáček a ručním řazení na úseku 1 (jízda po rovině)



Obr. 7 – Přepravní výkonnost při různém nastavení poklesu otáček a ručním řazení na úseku 2 (jízda do svahu)

Kriterium jak měrných spotřeb, tak i přepravních výkonností ukazuje, že nejvýhodnějším způsobem řazení převodových stupňů je automatické řazení s poklesem otáček 30 %, kdy motor pracuje převážně v ekonomické oblasti. Měrná spotřeba je sice vyšší, avšak nepatrně, než u ručního řazení, ale přepravní výkonnost je suverénně nejlepší. Tento fakt je dán také zkušeností řidiče, který je schopen podle situace v dopravě, oproti automaticce, přizpůsobit styl jízdy, a tím pozitivně ovlivnit měrnou spotřebu paliva. Měření prokázalo, že nejméně výhodným způsobem řazení je automatické řazení s poklesem otáček 5 %, které vykazuje nejvyšší hodnoty měrných spotřeb paliva na vykonanou přepravní práci a přitom nejhorší přepravní výkonnosti.

Úplná charakteristika zatížení s procentuálním vyznačením práce motoru v jednotlivých oblastech otáček a zatížení během jízdy po celém okruhu je na obr. 8. Z charakteristiky je patrné, jak byl motor zatěžován a v jakých oblastech se nejčastěji během jízdy pohyboval. Jedná se o režim automatického řazení převodových stupňů s 30 % poklesu otáček. Z charakteristiky vyplývá, že přes 41 % práce motor vykonal v rozmezí otáček 1600 – 1800 min^{-1} a současně při zatížení 80 – 100 %. Pokud vezmeme v úvahu fakt, že téměř 18 % tvořilo zatížení nižší než 30 %, a další část volnoběžné otáčky, můžeme konstatovat, že se motor pohyboval převážnou část své práce v ekonomické oblasti při nižší spotřebě paliva a tím tedy i produkoval menší množství emisí výfukových plynů.



Obr. 8 – Úplná charakteristika zatížení s procentuálním vyznačením práce motoru v jednotlivých oblastech otáček a zatížení

ZÁVĚR

Z výsledků měření vyplývá, že způsob řazení má významný vliv na ekonomiku provozu traktoru, tedy na jeho měrnou spotřebu a přepravní výkonnost. Špatným zvolením režimu automatického řazení převodových stupňů narůstá spotřeba paliva vlivem vyšších měrných spotřeb motoru při práci v oblasti maximálního výkonu. To se promítá také do měrné spotřeby paliva v závislosti na vykonané přepravní práci. Naopak při vhodně zvoleném způsobu řazení, se motor dostává do ekonomické oblasti práce s nižšími měrnými spotřebami paliva a současně i do oblasti vyššího točivého momentu. Při řazení v oblasti vyššího točivého momentu dosahuje souprava vyšší pojezdovou rychlost a tím dojde také ke zvýšení přepravní výkonnosti. Uvedený efekt lze dosáhnout i při ručním řazení, ale vyžaduje to zkušenosti, soustředění a zručnost obsluhy traktoru. Řidič, na rozdíl od automatického řazení, ale není schopen dlouhodobě udržovat motor v ekonomické oblasti.

Nejvýhodnějším způsobem řazení se ukázalo řazení automatické s poklesem otáček 30 %, které vykazuje nejlepší hodnoty měrných spotřeb i přepravních výkonností. Z úplné charakteristiky zatížení je patrné, že motor pracoval nejčastěji v rozmezí otáček 1600 – 1800 min⁻¹ při zatížení 80 – 100 %. Uvedená oblast práce motoru je nejpříznivější s ohledem na ekonomiku provozu a šetrnost k životnímu prostředí.

Příspěvek byl zpracován s podporou výzkumného záměru č. MSM6215648905 „Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu“ uděleného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky a výzkumného projektu NAZV Mze ČR QF 4080 „Výzkum energeticky méně náročných technologií rostlinné výroby“.

LITERATURA

- Bauer, F., Sedlák, P., Šmerda, T.: Traktory. Nakladatelství Profi Press, s.r.o., Praha 2006
Grečenko, A.: Vlastnosti terénních vozidel. Praha: VŠZ, 1994, 118 s
Semetko, J., a kol.: Mobilné energetické prostriedky 3. Bratislava 1986, Príroda, SZN, 457 s
Vlk, F. : Vozidlové spalovací motory. Nakladatelství Vlk, Brno 2003