

FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ EKONOMIKU PROVOZU TRAKTOROVÝCH SOUPRAV

P. Sedlák, F. Bauer, T. Kopa

Došlo: 5. května 2004

Abstract

SEDLÁK, P., BAUER, F., KOPA, T.: *Factors influencing economic aspects of operation of tractor machines aggregations*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2004, LII, No. 4, pp. 83-90

An appropriate additional load of driving wheels is very important for an efficient use of engine output. This additional load influences significantly the driving momentum and, thus, the pulling efficiency of the tractor. This pulling force is dependent on adhesion forces influencing the driving wheels and it can be said that the higher this adhesion force (i. e. the higher additional load), the higher the adhesion force and the higher the engine output. In this paper the authors present results of measurements of the pulling characteristics on a roller dynamometer. The measurements were performed in two variants, viz. (i) with additional loading only when using the basic load and (ii) with an additional load simulating the load of a plough. The measured parameters demonstrated that the additional loading either increased the tractor's pulling strength or reduced the slippage of wheels. The increase in the pulling strength was manifested especially when using lower gears. The obtained results documented the importance of additional loading.

From the practical point of view this additional load influenced above all operation with attached or pulled machines. If the regulatory systems of tractor's three-point suspension are correctly used, it is possible to transfer automatically a part of machine weight to the driving wheels and to increase the tractor's pulling strength. A graphical presentation of obtained results (i. e. without and with the additional load) can provide quite concrete output values, which document the economic advantages resulting from a correct selection of tractor's operational mode.

pulling efficiency, pulling characteristic, specific fuel consumption, Adhesion force

Nasazení traktorů vyšších výkonových tříd v České republice se pohybuje v rozmezí 1 500 až 2 000 hodin za rok. Existují však zemědělské podniky, které vykazují roční nasazení ještě vyšší. Energetická náročnost provozu traktoru za rok, bereme-li v úvahu pouze náklady na spotřebovanou naftu, připadající na jeden traktor vyšší výkonové třídy představuje finanční položku přesahující milion korun. Náklady na nákup pohonných hmot představují v současnosti nejvyšší provozní náklady mobilní techniky v zemědělství.

V současné době je u nás na trhu pestrá nabídka zemědělských strojů, která se neliší od ostatních vyspělých zemí. Nabídka strojů umožňuje variantní řešení sestavení traktorových souprav tak, aby pro

daný podnik byla souprava co možná nejvýhodnější pro technologii, která nejlépe odpovídá jeho výrobním podmínkám. Při nasazení nových technologií spojených se špičkovými stroji je třeba myslet na to, že používání nového stroje by mělo změnit stávající technologii, přinést snížení nákladů, zvýšit kvalitu a produktivitu práce.

Dnešní traktory svým technickým vybavením, elektronickým řízením a elektrohydraulickým ovládním dílčích funkčních uzlů přinesly nejen vysoký komfort, ale i účelnost spojenou s reálnou možností snížit náklady na spotřebu nafty. Dnešní traktory disponují motory s vysokým převýšením kroutícího momentu, převodovkami s možností automatického řazení a

moderními systémy elektrohydrauliky, kde vedle klasických regulací (polohová, silová, smíšená), přibýly další, např. regulace na mezní prokluz, nebo tlaková regulace. Pokud dokážeme v podmínkách praxe využít technických možností traktorů, dokážeme snížit náklady na spotřebu nafty až o 20 %, což představuje při ročním nasazení 2000 hodin finanční částku až 200 000 Kč.

MATERIÁL A METODY

Na Mendelově zemědělské a lesnické univerzitě v Brně byly v roce 2001 uvedeny do provozu nové laboratoře, které svým vybavením umožňují měřit tahové vlastnosti traktorů a ostatní technické parametry podvozků mobilních energetických prostředků. Zkušebna je vybavena elektrickým dynamometrem, kterým je možné přes vývodový hřídel měřit charakteristiky motorů traktorů do maximálního výkonu 500 kW. Zkušebna je také vybavena čtyřmi na sobě nezá-

vislými válcovými dynamometry, na které se přenáší tahová síla z hnacích kol traktoru typu 4K4, viz obr. 1. Traktorová zkušebna má měnitelný rozvor a je určena pro měření traktorů s rozvorem od 2000 do 3500 mm. Maximální tahová síla je 200 kN a výkon na hnacích kolech 420 kW.

V příspěvku uvádíme výsledky měření tahové charakteristiky na válcovém dynamometru, které bylo provedeno ve dvou variantách. První varianta – traktor bez přetížení pouze se základním závažím. Druhá varianta – traktor byl dotížen závažím, způsobem, který měl nahradit zatížení pluhem. Pro představu čtenáře uvádíme příklad dotíženého traktoru na obr. 2. V obou variantách zkoušek byly měřeny následující parametry: tahová síla, hodinová spotřeba paliva, obvodová rychlost kol a válců, teplota nasávaného vzduchu, tlak vzduchu za turbodmychadlem a teplota mazacího oleje v motoru. Současně s těmito hodnotami byly měřeny atmosférické podmínky: teplota



1: Elektrovířivý dynamometr VD 500 a válcový dynamometr 4VDM E-120-D



2: Dotížení traktoru pomocným závažím

vzduchu v laboratoři, relativní vlhkost vzduchu a atmosférický tlak. Všechna měření probíhala při ustálených provozních podmínkách traktoru, které byly charakterizovány ustálením teploty oleje v motoru.

Všechny měřené údaje byly průběžně ukládány do paměti měřicího počítače k pozdějšímu vyhodnocení.

Z naměřených hodnot byl vypočten tahový výkon podle vztahu:

$$P_t = F_t \cdot v \quad [\text{kW}],$$

kde: P_t – tahový výkon [kW]

F_t – tahová síla [kN]

v – pojezdová rychlost (obvodová rychlost válců dynamometru) [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Měrná tahová spotřeba byla vypočtena ze vztahu:

$$m_t = \frac{Q}{P_t} \quad [\text{g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}],$$

kde: m_t – měrná tahová spotřeba [$\text{g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$]

Q – hodinová spotřeba paliva [$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$].

Z obvodové rychlosti kol a válců se vypočte prokluz kol:

$$\delta = \left(1 - \frac{v}{v_k}\right) \quad [\%],$$

kde: v_k – obvodová rychlost kol [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Tahové vlastnosti traktoru byly měřeny při zařazených převodových stupních 5–12. Měření tahových sil bylo prováděno tak, že se hnací kola traktoru postupně zatěžovala měřícími dynamometry až po maximální provozní hodnoty prokluzu. Zatěžování hnacích kol bylo řízeno počítačem. Zkoušky proběhly při pojezdových rychlostech od 2,6 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ do 15,3 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, vždy na plnou dodávku paliva.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Naměřené a vypočtené hodnoty jsou obsaženy v tab. I a II. Z tabulkových hodnot byly sestrojeny tahové charakteristiky, které jsou zobrazena na obr. 3 a 4. Z tabulek a z tahových charakteristik vyplý-

vají následující závěry. Ekonomika provozu traktoru vlivem dotížení se projeví u nižších převodových stupňů, v našem případě je to převodový stupeň 5 a 6. Jedná se o rychlosti 4 až 6 km.h⁻¹, při uvedených rychlostech traktor vykazuje maximální tahové síly, které jsou potřebné pro tahové práce. Na pátý převodový stupeň dosáhl nepřetížený traktor, viz tab. I maximální tahový výkon 51,58 kW a měrná tahová spotřeba byla 476,2 g.kW⁻¹.h⁻¹. Přetížený traktor dosáhl na stejný převodový stupeň, viz tab. II maximální tahový výkon 61,72 kW a měrná tahová spotřeba byla 452 g.kW⁻¹.h⁻¹. Dotížením traktoru došlo ke zvýšení tahového výkonu o 20 %.

Stejnou ekonomickou výhodu docílíme i na šestý převodový stupeň. Na šestý převodový stupeň dosáhl nepřetížený traktor, viz tab. I, maximální tahový výkon 63,34 kW a měrná tahová spotřeba byla 438,3 g.kW⁻¹.h⁻¹. Přetížený traktor dosáhl na stejný převodový stupeň, viz tab. II, maximální tahový výkon 75,62 kW a měrná tahová spotřeba byla 418,9 g.kW⁻¹.h⁻¹. V druhém případě došlo ke zvýšení tahového výkonu o 19 %.

Uvedené výsledky měření dokazují, že dotížením traktoru např. správnou volbou regulačního systému třibodového závěsu traktoru dokážeme zcela automaticky zvýšit tahový výkon 19 až 20 % v okamžiku, kdy to podmínky práce traktoru v terénu vyžadují. Jak vyplývá z tabulkových hodnot a z grafického zpracování, viz obr. 3 a 4, dotěžování hnacích kol traktoru má význam pouze pro oblast vyšších tahových sil, tedy pro převodové stupně, které jsou určeny pro tahové práce traktoru. Naopak pro vyšší převodové stupně, které jsou určeny pro vyšší rychlosti traktoru např. v dopravě, je dotěžování traktoru nevýhodou.

Ekonomickou výhodnost automatického dotěžování traktoru v orbě měřili autoři Drabant, Petranský (1990), kteří rovněž dokladovali, že vlivem přetížením došlo ke zvýšení tahové účinnosti. Tahová síla

traktoru je závislá na kroutícím momentu motoru traktoru a zařazeném převodovém stupni. Uvedená hodnota představuje teoretickou hnací sílu na obvodě hnacích kol. Skutečná hodnota síly, která posunuje traktor ve směru jízdy, je závislá na zatížení hnacích kol (adhezi) a tzv. součiniteli záběru, který závisí na podložce, po které se hnací kola pohybují a pneumatikách. Na poli se hodnota součinitele záběru u kolových traktorů může pohybovat v širokém rozmezí od nejnižších hodnot 0,3 až po hodnoty blízké se hodnotě 0,9 Grečenko (1994). Dnešní traktory svoji konstrukcí a technickým vybavením, v soupravě s neseným nebo návěsným nářadím, jsou schopny automaticky, dle potřeby dotěžovat hnací kola a tím zvyšovat tahovou sílu a tahový výkon.

Energetická náročnost je jedním z důležitých kritérií, která určují vhodnost pracovních operací, postupů a technologií výroby zemědělských produktů. Současná spotřeba přímé energie v zemědělství České republiky se pohybuje 45–50 mil. GJ za rok. Na této spotřebě se podílejí nejvíce (asi 47 %) operace v rostlinné výrobě. Významnou část celkové spotřeby energie (asi 50 %) tvoří spotřeba pohonných hmot Syrový (1997). Konstrukce dnešních traktorů vyšších výkonových tříd je řešena tak, že statická hmotnost připadající na přední nápravu je větší, než hmotnost připadající na zadní nápravu. Traktory jsou vybavovány regulačními systémy třibodového závěsu, které zcela automaticky dokážou v případě potřeby přenést část hmotnosti stroje na traktor, což se projeví hlavně na zadní nápravě a tím dochází k vyrovnání zatížení náprav a zvýšení tahové účinnosti.

Výsledky tahových charakteristik jasně dokazují užité vlastnosti traktoru. Grafické zpracování výsledků měření tahových charakteristik bez přetížení a s přetížením dává uživateli zcela konkrétní výstupní hodnoty, které dokumentují ekonomický přínos správné volby provozního režimu traktoru.

I: Traktor bez přetížení

Parametr	Rozměr	Převodový stupeň																	
		5									6								
F_t	kN	6.678	10.91	14.74	30.17	39.76	45.17	48.34	49.52	50.73	5.782	5.889	18.84	31.08	39.03	44.45	47.43	48.56	48.91
P_t	kW	10.84	17.4	23.08	43.01	51.02	51.58	48.33	42.5	36.33	11.35	11.56	34.85	53.09	61.14	63.34	60.87	55.45	53.01
δ	%	3.334	5.058	6.741	14.71	23.2	31.75	40.51	49.11	57.79	3.058	3.091	8.645	15.42	22.15	29.22	35.9	42.76	45.62
m_t	g.kW ⁻¹ .h ⁻¹	1124	733.9	606.8	446.7	442.7	476.2	532.4	620.2	737.6	1042	1024	491.7	412.4	414.2	438.3	473.9	531.9	559.3
v	km.h ⁻¹	5.846	5.743	5.638	5.131	4.619	4.111	3.6	3.09	2.578	7.064	7.064	6.658	6.15	5.639	5.13	4.62	4.111	3.902

Parametr	Rozměr	Převodový stupeň																	
		7									8								
F_t	kN	6.57	12.4	24.55	33.68	40.01	44.02	46.03	47.3	48.65	49.9	3.978	9.099	23.36	33.72	38.42	41.1	43.88	46.24
P_t	kW	15.31	28.19	52.33	67.05	73.98	75.19	72.08	67.39	62.42	56.96	11.29	25.29	60.35	80.43	84.11	81.81	78.63	73.74
δ	%	3.491	5.737	11.07	16.32	21.58	27.01	31.14	35.84	40.68	46.2	2.508	4.412	10.61	16.3	19.68	22.93	26.62	31.31
m_t	g.kW ⁻¹ .h ⁻¹	834.8	554.8	408.1	385.9	392.8	412.1	428.1	450.5	480.9	526.2	1114	616	389.9	368.9	367.6	369.4	376.6	395
v	km.h ⁻¹	8.389	8.184	7.674	7.167	6.657	6.149	5.638	5.129	4.619	4.109	10.21	10.01	9.3	8.587	7.881	7.167	6.451	5.334

Parametr	Rozměr	Převodový stupeň																	
		9									10								
F_t	kN	4.502	8.665	19.3	28.71	32.04	34.83	37.18	39.35	40.9	4.29	11.31	22.55	31.2	36.84	38.53	40.91	42.89	44.75
P_t	kW	15.31	28.97	61.28	85.48	89.08	89.01	86.63	83.86	75.63	12.77	32.71	61.43	79.72	87.86	85.34	83.75	80.52	76.42
δ	%	3.009	4.45	8.541	12.86	15.02	17.02	19.02	20.95	23.01	2.844	5.473	10.36	15.13	18.93	20.67	23.4	26.19	29.68
m_t	g.kW ⁻¹ .h ⁻¹	4892	2743	425.9	361.6	347.5	342.1	340.6	341.9	345.5	969.2	510.7	379.1	359	357.1	356.2	359.8	366	378.1
v	km.h ⁻¹	12.24	12.04	11.43	10.72	10.01	9.199	8.388	7.673	6.656	10.72	10.42	9.807	9.198	8.586	7.975	7.369	6.759	6.147

Parametr	Rozměr	Převodový stupeň																	
		11									12								
F_t	kN	3.903	7.959	16.44	26.97	30.62	32.59	34.88	37.19	38.9	38.93	38.02	5.919	6.12	18.05	23.86	25.03	26.99	29.07
P_t	kW	14.04	28.17	55.87	85.61	91.13	90.55	89.1	86.62	82.9	75.22	68.1	25.1	25.95	72.58	91.24	90.74	91.81	92.35
δ	%	2.883	4.279	7.451	12.17	14.2	16.14	18.12	20.27	21.99	22.01	21.31	5.42	5.427	9.016	10.93	11.45	11.95	12.8
m_t	g.kW ⁻¹ .h ⁻¹	968.4	583.3	396	349.2	341.2	335.2	333.5	333.7	334.1	335.6	337.3	722.5	697.3	384.4	349.7	338.6	328.3	317.9
v	km.h ⁻¹	12.95	12.74	12.24	11.43	10.72	10	9.195	8.385	7.672	6.956	6.449	15.27	15.26	14.48	13.77	13.05	12.25	11.44

F_t – tahová síla traktoru, P_t – tahový výkon, δ – prokluz kol, m_t – měrná tahová spotřeba, v – pojízdnost rychlost II

II: Traktor s přetížením

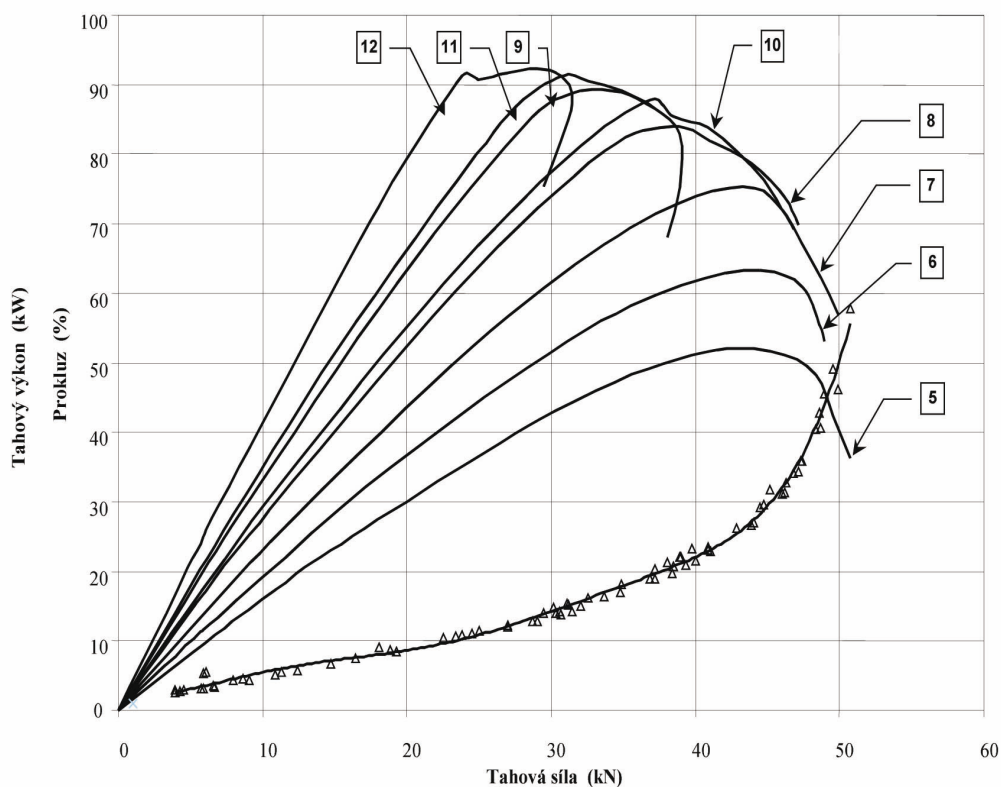
Parametr	Rozměr	Převodový stupeň																	
		5									6								
F _t	kN	5.815		15.51	33.96	46.76	54.03	57.8	63.05	63.74	3.14	18.63	32.53	46.67	53.15	56.51	58.27	58.71	58.42
P _t	kW	9.444		24.31	48.41	60.02	61.72	57.8	50.49	47.49	6.15	34.41	56.38	73.00	75.62	70.73	64.66	55.19	50.02
δ	%	3.902	5.466	7.101	15.04	23.32	31.66	39.69	50.07	52.55	2.509	8.052	14.07	22.18	27.76	34.28	41.18	49.12	52.7
m _t	g.kW ⁻¹ .h ⁻¹	1223	734.7	604.3	427.4	417.4	452.6	504.9	612.1	655	2197	569	443.9	417.4	418.9	439.3	478.1	560.9	616.4
v	km.h ⁻¹	5.847	6.151	5.641	5.132	4.621	4.112	3.6	2.883	2.682	7.052	6.647	6.24	5.631	5.122	4.505	3.995	3.384	3.082

Parametr	Rozměr	Převodový stupeň																			
		7								8											
F_t	kN	8.247	11.71	26.56	37.72	44.84	47.34	50.21	52.69	54.9	57.52	4.853	7.896	24.88	35.88	38.89	42.3	45.29	47.3	47.05	42.63
P_t	kW	18.99	26.63	56.66	75.13	82.94	80.9	78.68	75.1	70.47	60.84	13.63	21.96	64.29	85.62	85.17	84.23	81.2	75.46	65.7	48.7
δ	%	5.57	6.638	12.03	17.41	22.18	24.72	27.52	31.18	35.35	42.58	3.975	4.88	10.94	16.47	18.8	21.36	24.63	27.59	28.99	22.55
m_t	g.kW ⁻¹ .h ⁻¹	755.5	598.6	400.7	374.1	378.1	377.8	384	394.8	412.9	452.8	1010	705.8	387.5	362.4	355.8	352.4	358.5	367	374.9	378
v	km.h ⁻¹	8.288	8.188	7.678	7.17	6.659	6.152	5.64	5.132	4.621	3.808	10.11	10.01	9.303	8.591	7.883	7.169	6.454	5.743	5.028	4.112

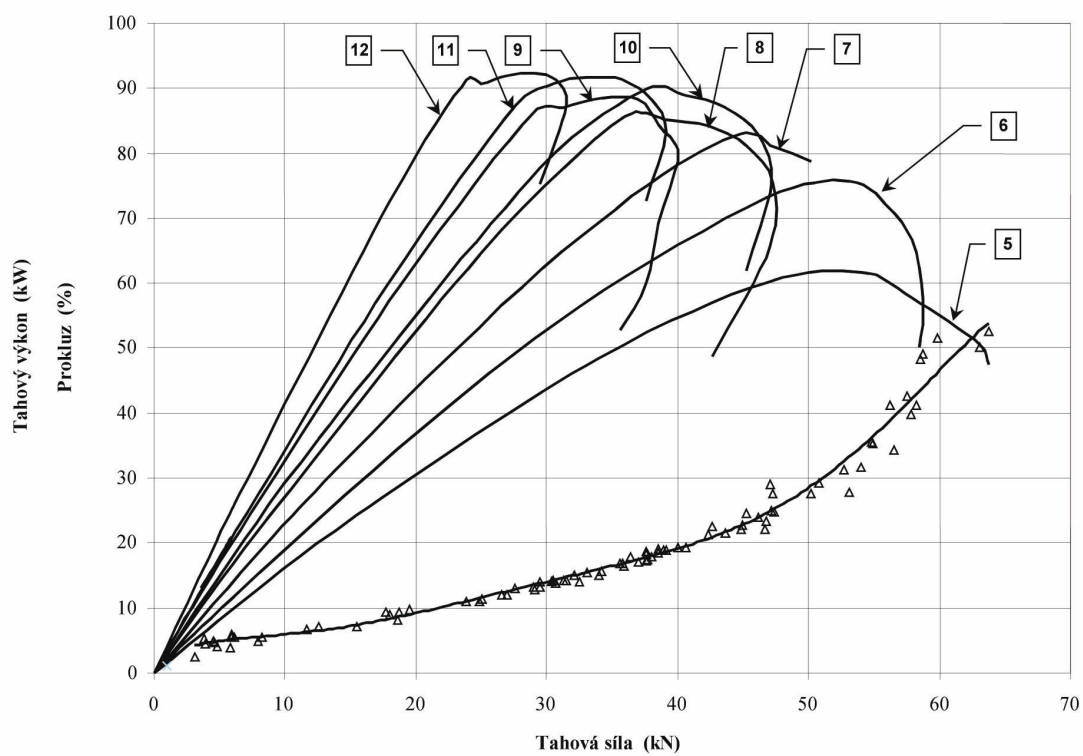
Parametr	Rozměr	Převodový stupeň																			
		9										10									
F _t	kN	4.569	18.69	28.92	31.26	34.23	36.98	38.5	40.04	38.52	37.6	35.58	4.675	12.58	29.45	37.66	40.61	43.66	46.12	47.2	45.29
P _t	kW	15.41	59.39	86.16	86.93	88.47	88.25	84.32	79.74	69.07	59.99	52.74	13.79	36.06	77.75	89.89	88.94	86.95	82.68	75.3	61.94
δ	%	4.845	9.271	13.19	14.14	15.67	17.04	18.49	19.22	18.98	18.56	16.77	4.645	7.042	13.28	17.19	19.36	21.48	23.86	24.99	24.54
m _t	g.kW ⁻¹ .h ⁻¹	984.7	411.8	359.8	345.8	336.6	329.7	332.4	328.3	333.1	340	347.3	982.3	501.8	361.4	340.8	338.1	336.4	338.8	342.4	349.1
v	km.h ⁻¹	12.14	11.44	10.73	10.01	9.304	8.591	7.884	7.17	6.455	5.744	5.337	10.62	10.32	9.506	8.592	7.884	7.17	6.454	5.743	4.924

Parametr	Rozměr	Převodový stupeň																				
		11										12										
F_t	kN	5.908	3.852	17.68	27.55	30.52	33.08	35.78	37.99	39.08	37.64	36.37	5.964	6.166	18.19	24.04	25.21	27.19	29.29	30.88	31.68	29.67
P_t	kW	20.86	13.71	59.45	87.26	90.65	91.72	91.18	88.28	83.09	72.57	61.94	25.06	25.91	72.47	91.09	90.6	91.67	92.2	91.15	87.29	75.16
δ	%	5.853	5.249	9.364	12.96	14.22	15.32	16.76	17.95	18.93	18.26	17.79	5.845	5.854	9.724	11.79	12.35	12.89	13.8	14.8	15.34	15.18
m_t	$\text{g kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	751.2	1027	398.5	352.1	337.4	327.1	320.9	317.2	318.9	322.1	330.8	743.8	717.9	395.7	360	348.5	338	327.2	321.7	320.6	337.8
v	$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	12.71	12.82	12.11	11.4	10.69	9.98	9.173	8.366	7.654	6.942	6.131	15.14	15.14	14.36	13.65	12.95	12.15	11.34	10.64	9.93	9.128

F_t – tahová síla traktoru, P_t – tahový výkon, δ – prokluz kol, m_t – měrná tahová spotřeba, v – pojezdová rychlost



3: Tahová charakteristika traktoru na válcovém dynamometru bez přetížení



4: Tahová charakteristika traktoru na válcovém dynamometru s přetížením

SOUHRN

Pro efektivní využití výkonu motoru kolových traktorů, je důležité správné dotížení hnacích kol. Dotížení hnacích kol podstatně ovlivňuje záběrový moment a tím i tahovou účinnost traktoru. Tahová síla traktoru závisí na adhezních silách působících na hnací kola. Čím je adhezní síla větší (větší dotížení hnacích kol), tím je možné přenést větší hnací sílu na půdu a tím zvýšit využití výkonu motoru. V příspěvku uvádíme výsledky měření tahové charakteristiky na válcovém dynamometru, které bylo provedeno ve dvou variantách. První varianta – traktor bez přetížení pouze se základním závažím. Druhá varianta – traktor byl dotížen závažím, způsobem, který nahrazuje zatížení pluhem. Naměřené parametry traktoru dokazují, že při dotížení hnacích kol dojde ke zvýšení tahové síly, nebo při stejné tahové síle dojde ke snížení prokluzu. Nárůst tahové síly se projeví především u nižších převodových stupňů. Uvedené hodnoty dokumentují význam dotěžování traktoru. V praxi se dotížení projeví především při práci s nesenými a návěsnými stroji. Pokud uživatel správně využívá regulační systémy tříbodového závěsu traktoru, dokáže v okamžiku nárůstu pracovního odporu automaticky přenést část tíhy stroje na hnací kola a tím zvýšit tahový výkon traktoru. Grafické zpracování výsledků měření tahových charakteristik bez přetížení a s přetížením dává uživateli zcela konkrétní výstupní hodnoty, které dokumentují ekonomický přínos správné volby provozního režimu traktoru.

tahová síla, adhezní síla, měrná tahová spotřeba, tahová účinnost, tahová charakteristika

Příspěvek byl vypracován na základě výsledků získaných při řešení projektu MZe ČR č. QF 4080 „Vývoj energeticky méně náročných technologií rostlinné výroby“ a projektu MSM 432100001.

LITERATURA

- | | |
|---|--|
| DRABANT, Š., PETRANSKÝ, I.: Vliv neustálého zařazování na prekl traktora Z-12045. Acta technol. Agric. Univ. Agric. Nitra, Příroda Bratislava, 1990, 31, 12s. | GREČENKO, A.: Vlastnosti terénních vozidle. VŠZ Praha, 1994, 118s.
SYROVÝ, O.: Orientační hodnoty měrné spotřeby paliv a energie v zemědělství. Metodiky pro zemědělskou praxi. Praha, ÚZPI 1997, č. 7 47s. |
|---|--|

Adresa

Ing. Pavel Sedlák, CSc., Doc. Ing. František Bauer, CSc., Ing. Tomáš Kopa., Ústav základů techniky a automobilové dopravy, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika