

Význam pohonu předních kol a uzávěrky diferenciálu

V minulých dvou číslech Mechanizace zemědělství jsme přinesli čtenářům výsledky experimentálních měření zaměřených na energetickou náročnost orby. První článek se zabýval problematikou vlivu huštění pneumatik na spotřebu paliva a výkonnost při orbě (MZ 1/2012). Druhý z uvedených článků popisoval, jakým způsobem se na energetické náročnosti orby projeví tvar orebních těles (MZ 2/2012). Dnešní, třetí díl seriálu o vlivu nastavení traktoru a pluhu na energetické a exploatační parametry je zaměřen na problematiku využívání pohonu předních kol traktoru a uzávěrky diferenciálu hnacích kol.

V rámci měření traktoru Zetor Forterra 135 s pluhem OPaLLAgri Jupiter II 120/90 byla provedena porovnávací měření pro tři různá nastavení traktoru během orby. Bylo provedeno měření orby traktorem s vypnutým pohonem přední nápravy, dále se zapnutým pohonem přední nápravy a nakonec měření se zapnutou uzávěrkou diferenciálu.

Pro snížení prokluzu

Většina moderních traktorů je vybavena pohonem přední nápravy, který lze zapnout podle požadavků řidiče. Hlavním smyslem pohonu přední nápravy traktoru je snížit prokluz hnacích kol, a tím dosáhnout vyšší účinnosti přenosu hnací síly motoru na podložku. Vzhledem k tomu, že se zemědělské traktory během svého provozu pohybují po značně rozličných površích (asfaltová silnice, polní cesta, louka, strniště, oraniště atd.), nemůže být pohon přední nápravy zapnut neustále. Zatímco při těžké práci traktoru v náročných terénních podmínkách (příprava půdy apod.) se projevují přednosti zapnutého pohonu přední nápravy, při pohybu traktoru po zpevněných komunikacích (doprava po suché silnici apod.) se ukazují spíše nevýhody zapnutého předního pohonu. Za tyto nevýhody lze považovat zvýšené namáhání pohonu a především vyšší míru opotřebení pneumatik, která je způsobena tím, že traktory nejsou vybaveny mezinápravovým diferenciálem. K vyššímu opotřebení pneumatik a zvýšenému namáhání pohonu dochází vlivem toho, že obvodové rychlosti předních a zadních kol nejsou ani při přímé jízdě zcela shodné – nerovnoměrné opotřebení pneumatik, rozdílný plnicí tlak, otáčkový předstih předních kol atd. (Bauer et al., 2006).

Z výše uvedených důvodů je pro úsporný provoz traktorové soupravy nutné, aby obsluha traktoru správně vyhodnotila aktuální podmínky a podle toho zapnula nebo vypnula pohon přední nápravy. Některé současné traktory, především vyšších výkonových tříd, dokážou řidiči částečně ulehčit práci a pohon přední nápravy zapnout v případě potřeby automaticky. Děje se tak zpravidla na základě neustálého vyhodnocování prokluzu hnacích kol řidičskou jednotkou traktoru. Prokluz hnacích kol traktoru závisí především na druhu povrchu a součiniteli záběru, dále také na typu pneumatik, jejich opotřebení, tlaku huštění a dalších parametrech. Součinitel záběru představuje podíl mezi přenášenou hnací silou a celkovým vertikálním zatížením hnacích kol. Součinitel záběru pro traktor s vypnutým nebo zapnutým pohonem přední nápravy lze vypočítat podle následujících vztahů (Syrový et al., 2007):

$$\mu_{4K2} = \frac{F_h}{Y_z}$$

$$\mu_{4K4} = \frac{F_h}{Y_p + Y_z}$$

kde:

μ_{4K2} – součinitel záběru traktoru s vypnutým pohonem přední nápravy (-)

μ_{4K4} – součinitel záběru traktoru se zapnutým pohonem přední nápravy (-)



Před měřením byl do traktoru namontován průtokoměr pro měření spotřeby paliva, snímač otáček PTO, pro měření otáček motoru, snímače otáček zadních kol pro stanovení prokluzu a přijímač GPS pro zjištění rychlosti jízdy

F_h – hnací síla na kolech traktoru (N)

Y_p – vertikální zatížení přední nápravy (N)

Y_z – vertikální zatížení zadní nápravy (N)

Protože prokluz hnacích kol roste se součinitelem záběru, je z předchozích vztahů patrné, že traktor s pohonem pouze zadní nápravy vykazuje značně horší záběrové vlastnosti oproti traktoru s pohonem všech kol. Míra zhoršení záběrových vlastností závisí na rozložení hmotnosti mezi přední a zadní nápravou. Na obr. 1 jsou znázorněny teoreticky odvozené závislosti prokluzu hnacích kol na tahové síle pro měřený traktor při zapnutém a vypnutém pohonu přední nápravy. Z obrázku je patrné, že při vypnutém pohonu přední nápravy lze u traktoru při téže tahové síle očekávat až dvojnásobný prokluz hnacích kol. Nápravový diferenciál umožňuje rozdílné otáčení hnacích kol traktoru např. při zatáčení, a tím usnadňuje zatáčení, snižuje opotřebení pneumatik atd. Z toho důvodu je na traktoru, tak jako na jiných vozidlech, nepostradatelný. Avšak i diferenciál má své nevýhody, které se projevují při rozdílných záběrových podmínkách hnacích kol. V takovém případě způsobí aktivní diferenciál zvýšení otáček kola s horšími záběrovými vlastnostmi, což způsobí zhoršení trakčních vlastností traktoru (Bauer et al., 2006). Protože rozdílné záběrové podmínky hnacích kol nastávají při provozu traktorů v terénu velmi často, jsou traktory vybaveny uzávěrkou diferenciálu, která umožní vyřadit jej z činnosti. Traktor se zapnutou uzávěrkou diferenciálu pracuje bez diferenciálu, což umožní zvýšit jeho trakční vlastnosti, ale za cenu většího opotřebení pneumatik, horších jízdních vlastností při zatáčení apod.

- (1) Orba představuje nejen jednu z časově i energeticky nejnáročnějších operací rostlinné výroby, ale také operaci, která kladé vysoké nároky na tahové vlastnosti traktoru. Proto lze při orbě (a jiných tahově náročných pracích) očekávat značný vliv případného zapnutí nebo vypnutí pohonu přední nápravy nebo uzávěrky diferenciálu. K ověření vlivu zapnutí pohonu přední nápravy a uzávěrky diferenciálu na energetické a exploatační ukazatele orební soupravy v praxi bylo provedeno měření, jehož výsledky jsou uvedeny v následujícím textu.

Tab. 1 – Naměřené veličiny a vypočtené exploatační a energetické parametry při orbě s čtyřradličným pluhem Jupiter II 120/90 pro tři modifikace nastavení traktoru

Nastavení traktoru		Číslo měření	Délka jízdy (m)	Čas jízdy (min)	Celková spotřeba (l)	Zpracovaná plocha (ha)	Jednotková spotřeba (l/ha)	Výkonnost (ha/h)	Pracovní rychlost (km/h)	Průměrný prokluz (%)	Průměrná otáčky motoru (ot/min)	Průměrná hodinová spotřeba (l/h)	Průměrný točivý moment motoru (Nm)	Průměrný výkon motoru (kW)
Pohon přední nápravy	Uzávěrka diferenciálu													
vypnut	vypnuta	1A	405,8	3,57	0,975	0,064	15,30	1,07	6,83	16,24	1777	16,40	308,03	57,31
		1B	406,2	3,88	1,119	0,064	17,55	0,99	6,28	21,42	1743	17,29	335,17	61,18
		1A + 1B	406,0	3,73	1,047	0,064	16,40	1,00	6,55	18,81	1760	16,86	321,87	59,32
zapnut	vypnuta	2A	410,5	3,38	0,931	0,064	14,45	1,14	7,28	10,06	1765	16,51	313,00	57,85
		2B	411,9	3,60	1,025	0,065	15,85	1,08	6,86	11,91	1707	17,08	339,75	60,73
		2A + 2B	411,2	3,49	0,978	0,065	15,15	1,11	7,07	10,99	1736	16,81	326,18	59,29
zapnut	zapnuta	3A	412,9	3,45	0,944	0,065	14,55	1,13	7,18	10,64	1751	16,41	313,89	57,55
		3B	417,6	3,48	1,047	0,066	15,97	1,13	7,19	12,24	1787	18,03	341,02	63,82
		3A + 3B	415,3	3,47	0,995	0,065	15,26	1,13	7,19	11,44	1769	17,23	327,68	60,70
zapnut	vypnuta	4A	418,7	3,47	0,953	0,066	14,50	1,14	7,25	10,09	1756	16,49	314,49	57,85
		4B	419,0	3,58	1,041	0,066	15,82	1,10	7,02	12,10	1741	17,43	338,64	61,74
		4A + 4B	418,9	3,53	0,997	0,066	15,16	1,12	7,13	11,09	1749	16,97	326,67	59,82

Z Tabulky je velmi dobře patrné, jak se zapnutí pohonu přední nápravy traktoru projevilo ve snížení prokluzu a tím zvýšení rychlosti jízdy, což znamenalo vyšší výkonost. A protože hodinová spotřeba paliva zůstala v obou případech podobná, znamenalo použití pohonu přední nápravy rovněž nižší hektarovou spotřebu paliva.

Traktor i pluh byly zapůjčeny od firmy N & N Košátky, a protože se tento prodejce zemědělské techniky zabývá i rostlinnou výrobou, mohli jsme využít jeden z jeho pozemků a orební soupravu na něm vyzkoušet.

Měření opět provedl kolektiv pracovníků z Výzkumného ústavu zemědělské techniky v Praze. Metodika měření byla podrobně popsána v předchozích článcích, proto je tentokrát uvedena pouze ve zkrácené formě.

Metodika měření

Velikost předního závaží traktoru byla upravena tak, aby bylo dosaženo optimálního rozložení hmotnosti

traktoru na nápravy, které je pro orbou v rozmezí 45/55 až 50/50 (podíl hmotnosti přední/zadní nápravy). Konečné vyvážení bylo v poměru 47 % hmotnosti na přední a 53 % na zadní nápravu traktoru. Tlak huštění všech pneumatik traktoru byl upraven na 100 kPa, což je hodnota představující pro tyto pneumatiky kompromis mezi záběrovými vlastnostmi pneumatiky a rizikem jejich přetížení (viz článek v MZ 1/2012, věnovaný huštění pneumatik).

Před zahájením vlastního měření byly na zkoušený traktor nainstalovány všechny potřebné snímače (průtokoměr paliva, GPS přijímač, snímače otáček zadních kol a snímač

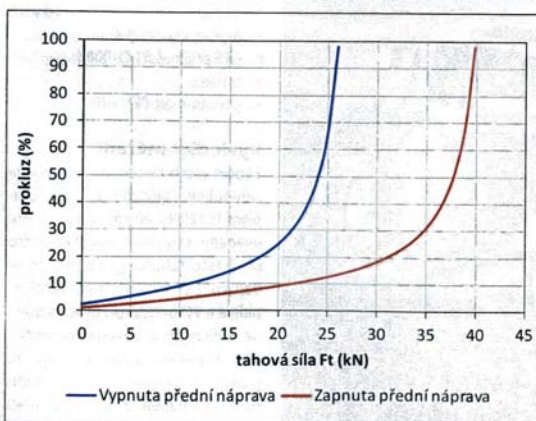
otáček vývodového hřídele), které byly zapojeny do měřicího počítače. Během přípravy měření byly také stanoveny odvalené obvody zadních pneumatik traktoru.

Pomocí mobilního dynamometru byla na vývodovém hřídeli (PTO) změřena jmenovitá otáčková charakteristika motoru traktoru. Tato charakteristika umožňuje nejen získat pohled na chování motoru v různých otáčkách, ale také stanovit přibližnou hodnotu zatížení motoru během práce traktoru. Na zkušební pozemku (sklizené pole s výdrolem pšenice) bylo vytvořeno trasírkami osm měřicích úseků. Délka těchto úseků byla přibližně 400 metrů. V průběhu vlastního měření

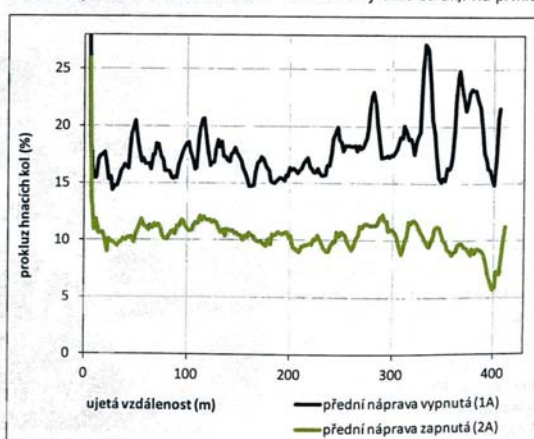
byly snímány a zaznamenávány následující veličiny:

- spotřeba motorové nafty (průtokoměr),
- pozice traktoru, rychlost jízdy a ujetá dráha (GPS),
- doba jízdy,
- rychlosti otáčení zadních kol traktoru, dráha ujetá koly (otáčkoměry),
- otáčky motoru (snímač na PTO).

Pro eliminaci vlivu svazitosti pozemku se každé měření provádělo ve dvou úsecích (jízda tam a zpět). Na každém úseku byla zjišťována průměrná hloubka zahloubení orebních těles (nastavená hloubka orby činila 20 cm). Na prvních



Obr. 1 – Teoreticky odvozené závislosti prokluzu hnacích kol na tahové síle pro měření traktor Zetor Forterra 135 při zapnutém a vypnutém pohonu přední nápravy (jízda po rovině na strništi)



Obr. 2 – Průběhy prokluzů hnacích kol při jízdě se zapnutým a vypnutým pohonem přední nápravy ke konci pozemku



dvou měřících úsecích (jízda tam a zpět, číslo 1A a 1B) byl u traktoru vypnut pohon přední nápravy i uzávěrka diferenciálu. Při dalších dvou měřících jízdách (2A a 2B) byl zapnut pohon přední nápravy, uzávěrka diferenciálu zůstala vypnutá. Následně bylo provedeno měření se zapnutou uzávěrkou diferenciálu hnacích kol a zapnutým pohonem přední nápravy (3A a 3B). Poslední dvě měřící jízdy (4A a 4B) byly provedeny se stejným nastavením traktoru jako jízdy 2A a 2B. Opakování měření se zapnutým pohonem přední nápravy a vypnutou uzávěrkou diferenciálu bylo provedeno proto, aby se ověřilo, že se mezi jednotlivými měřícími jízdami významně nezměnily půdní podmínky.

Během měření byly odebrány vzorky půdy pro zjištění vlhkosti, fyzikálních vlastností a zrnitost. Penetrometrem bylo provedeno celkem 120 vpichů pro stanovení zhuštění půdy. Při vlastním měření se souprava traktoru s pluhem pohybovala vždy ve stejném režimu. Pomocí ručního plynu byly nastaveny stabilní otáčky motoru na 1800 ot/min. V průběhu jízdy nebylo prováděno řazení a byl použit první rychlostní stupeň silničního rozsahu a střední stupeň násobiče točivého momentu. Regulační hydraulika traktoru byla nastavena na smíšenou regulaci.

Z naměřených hodnot byly následně pro jednotlivé měřící jízdy vypočteny hodnoty prokluzu hnacích kol, jed-

Tab. 2 – Prokluz zadních hnacích kol traktoru Zetor Forterra 135 při orbě s čtyřradličným pluhem Jupiter II 120/90 pro jednotlivá měření

Nastavení traktoru	Uzávěrka diferenciálu	Číslo měření	Prokluz zadních hnacích kol		
			Záhonové d (%)	Na strništi d (%)	Průměrný d (%)
vypnut	vypnutá	1A	17,34	15,14	16,24
		1B	23,41	19,43	21,42
zapnut	vypnutá	2A	10,08	10,05	10,06
		2B	12,31	11,51	11,91
zapnut	zapnutá	3A	10,49	10,78	10,64
		3B	12,38	12,10	12,24
zapnut	vypnutá	4A	10,08	10,09	10,09
		4B	12,41	11,78	12,10



Zapnutí uzávěrky diferenciálu se na měřených parametrech orební soupravy neprojeví, což bylo dáno tím, že půdní podmínky byly příznivé pro zpracování a výkon motoru traktoru byl využíván jen z 60 %

notkové spotřeby paliva, výkonnosti, průměrných otáček motoru a průměrného výkonu odebraného z motoru.

Použitá měřící zařízení:

- měřící počítač HP mini 5103
- analogově digitální převodník U3
- I/O modul pro impulzní snímače Quido 10/1
- dva snímače otáček kol DKS40-R5M00360
- průtokoměr EDM 1404
- snímač otáček a točivého momentu na vývodovém hřídeli Mfi 2500Nm
- přenosné váhy Haenni
- odměrné kolo
- pásmo
- digitální sklonoměr
- GPS přijímač BT-Q1000X
- trasírky
- penetrometr PEN - 70

Výsledky měření

Během všech měření bylo průměrné zahloubení čtyřradličného pluhu Jupiter II 120/90 20 cm. V tab. 1 jsou uvedeny souhrnné výsledky měření. Z této tabulky je patrné, že při daných podmínkách byly spotřeba paliva a výkonnost při orbě významně ovlivněny především zapnutím, příp. vypnutím pohonu přední nápravy. Při orbě se zapnutým pohonem přední nápravy (2A a 2B) klesla oproti orbě s vypnutým pohonem (1A a 1B) jednotková spotřeba nafty z 16,42 l/ha na 15,15 l/ha (8 %),

výkonnost orební soupravy stoupla z 1,03 ha/h na 1,11 ha/h (8 %) a průměrný prokluz hnacích kol klesl z 18,83 % na 10,99 % (pokles o 41 %). Hlavní příčina naměřených rozdílů je v příznivějším součiniteli záběru hnacích kol při zapnutém pohonu přední nápravy (viz vztahy 1 a 2). To se projevilo lepším přenosem tahového výkonu na podložku, což je spojeno s nižším prokluzem hnacích kol, jak dokládají obr. 2 a 3, a tedy i nižšími ztrátami výkonu.

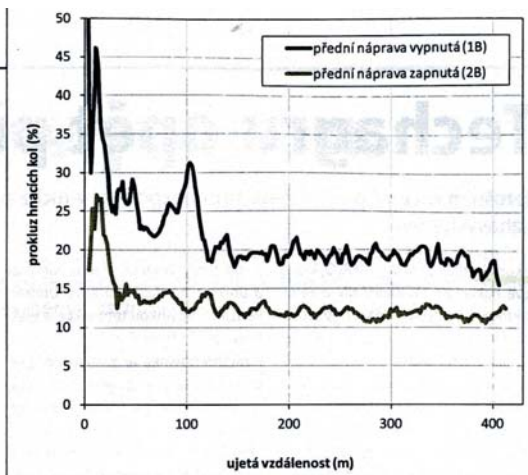
Vliv zapnutí a vypnutí uzávěrky diferenciálu (jízdy 3A, 3B, 4A a 4B) na energetické a exploatační ukazatele zkoušené orební soupravy byl v daných podmínkách minimální. Naměřené rozdíly spotřeby paliva, výkonnosti a prokluzu jsou nepatrné a vzhledem k chybě měření neprokazatelné. Obr. 4 a 5 dokládají malé rozdíly prokluzu mezi jízdami se zapnutou a vypnutou uzávěrkou diferenciálu.

Tabulka 2 uvádí podrobně hodnoty prokluzu na záhonovém kole a na kole na strništi během jednotlivých měřicích jízd. Z těchto hodnot je patrné, že záhonové kolo mělo téměř vždy vyšší prokluz (kromě měření se zapnutou uzávěrkou diferenciálu). Z toho lze usuzovat horší záběrové podmínky záhonového kola oproti kolu na strništi. Nejvyšší rozdíl prokluzu mezi záhonovým kolem a kolem na strništi byl v případě orby s vypnutým pohonem přední nápravy, kdy průměrný rozdíl v prokluzu činil 15 %.

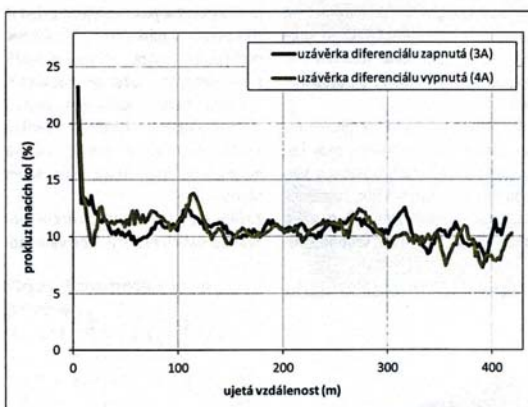
Závěr

Provedené měření prokázalo značný vliv správného nastavení traktoru na spotřebu paliva a výkonnost při orbě. Zapnutí pohonu přední nápravy při orbě přineslo snížení spotřeby paliva, zvýšení výkonnosti a snížení prokluzu. Lze také předpokládat, že vlivem nižšího prokluzu hnacích kol dochází k nižšímu opotřebení pneumatik oproti orbě bez zapnutého pohonu předních kol. Použití pohonu přední nápravy bylo tedy jednoznačně přínosné, což lze zobecnit i pro většinu dalších tahových polních prací a obsluha traktoru by si to měla uvědomit a pohon přední nápravy při polních pracích používat. Bohužel, stále to v praxi není pravidlem.

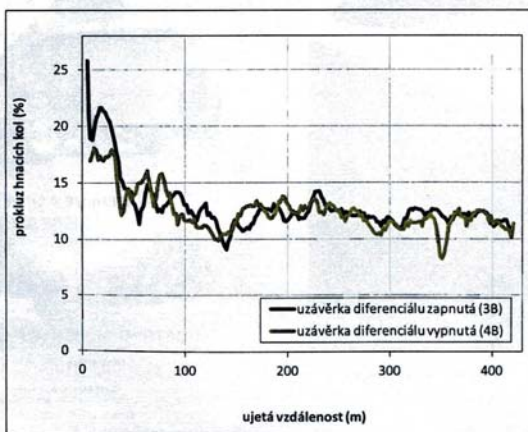
V daných podmínkách se nepro-kázal významný vliv zapnutí uzá-



Obr. 3 – Průběhy prokluzu hnacích kol při jízdě se zapnutým a vypnutým pohonem přední nápravy od konce pozemku



Obr. 4 – Průběhy prokluzu hnacích kol při jízdě se zapnutou a vypnutou uzávěrkou diferenciálu ke konci pozemku



Obr. 5 – Průběhy prokluzu hnacích kol při jízdě se zapnutou a vypnutou uzávěrkou diferenciálu od konce pozemku

traktory a doprava

věrky diferenciálu na sledované ukazatele orební soupravy. Je však nutno vzít v úvahu, že půdní podmínky byly během měření příznivé. Zpracovávaná půda patří mezi lehké zpracovatelné půdy a její povrch nebyl příliš rozmáčený (viz článek MZ 1/2012). Také motor traktoru byl využit jen z 50 až 60 %. V náročnějších podmínkách (vlhkost půdy, vyšší tahový odpor a využití výkonu motoru) lze předpokládat vyšší prokluzy hnacích kol, kdy by se znatelněji projevil vliv uzávěrky diferenciálu. V praxi má tak zapínání uzávěrky diferenciálu význam pouze v obtížných půdních podmínkách, zejména tehdy, pokud je plně využit výkon motoru traktoru a oraná půda má vyšší vlhkost, což vede k vyššímu prokluzu odlehčeného kola jedoucího po strništi. Na rozdíl od pohonu přední nápravy je pak rovněž nutné vypínání uzávěrky diferenciálu při otáčení na souvrati, kde mají výhodu ty traktory, u nichž se uzávěrka vypíná automaticky (při zvednutí TBZ, natočení kol přední nápravy atd.).

Ing. Luboš Stehno, Ph.D.,
Mechanizace zemědělství,
Ing. Karel Kubín,
Bc. Ilona Gerndtová,
Ing. Radek Pražan, Ph.D.,
Výzkumný ústav
zemědělské techniky v. v. i, Praha

Článek vznikl v rámci řešení výzkumného záměru MZE 0002703102 „Výzkum efektivního využití technologických systémů pro setrvalé hospodaření a využívání přírodních zdrojů ve specifických podmínkách českého zemědělství“.

Děkujeme firmě N & N Košátky za zapůjčení orební soupravy, pozemku a pomoc při měření.

Použitá literatura

Bauer, F., Sedlák, P., Šmerda, T. (2006). Traktory. Praha: Profi Press, 2006. 192 s. ISBN 80-86726-15-0.
Syrový, O., et al. (2007a). Výzkum racionálních dopravních systémů pro zemědělství ČR v podmínkách platnosti legislativy v EU. Praha: VÚZT, 2007.
Redakčně upravená závěrečná zpráva výzkumného projektu QF 3145. 306 s.