Biblid: 0350-2953 (2019) 45(1): 11-24;
UDK: 631.3; 631.5

Originalni naučni rad
Original scientific paper

KOMPARATIVNO POREĐENJE DVA TRAKTORA ISTOG MODELA COMPARATIVE COMPARISON OF TWO TRACTORS OF THE SAME MODEL

Stanić Nikola, Simikić Mirko, Dedović Nebojša, Ponjičan Ondrej, Višacki Vladimir

Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000
Novi Sad, Srbija

REZIME

U radu je izmerena i upoređena snaga traktora na priključnom vratilu i obrtni moment dva nova ista modela traktora, koji imaju motore sa konstantno dostupnim power boost-om. Merenja su sprovedena pomoću dinamometra Froment Sigma 5 u identičnim ambijentalnim i tehničko tehnološkim uslovima. Merenja su urađena na traktorima Case IH Puma 155, nominalne snage 155 KS (114 kW). Na osnovu rezultata zaključeno je da je razlika u maksimalnoj snazi bila 6,66 % (9,2 KS), a razlika u maksimalnom obrtnom momentu je iznosila 4,43 % (32 Nm).

Ključne reči: snaga, obrtni moment, power boost, traktor, dinamometar.

1. UVOD

Tokom ove godine cena goriva u Srbiji dostigla je najvišu vrednost u poslednjih 20 godina. Gorivo je postalo jedan od najveći troškova u ukupnoj poljoprivrednoj proizvodnji. Ono opterećuje proizvodnju organskih žitarica između 13,4-13,9 % od ukupnog troška proizvodnje (*Mijatović et al., 2018*). Visok udeo troškova goriva veže se za trend konstantno rastuće cene goriva u Republici Srbiji. Potrebno je izvući maksimum iz toplotne moći goriva i tu energiju maksimalno iskoristiti kao dostupnu snagu na tri glavna izlaza snage na traktoru (vučnu silu na poteznici, snagu na PVT traktora i na hidrauličnim izvodima traktora). Na potrošnju goriva i maksimalnu snagu koju je moguće iskoristiti utiče više faktora, kako spoljnih tako i unutrašnjih. Na podhlađenom motoru sa temperaturom rashladne tečnosti ispod 75-85 °C dolazi do povećanja potrošnje goriva od 15-30% i ovi uslovi rada imaju uticaja na konačnu realizaciju snage i obrtnog momenta na motoru. Na umereno pregrejanom motoru može doći do povišene potrošnje goriva, smanjenja snage i obrtnog momenta i habanja pokretnih i ne pokretnih delova motora u većoj meri nego što je normalno (*Govoruščenko, 1979*). Kvalitet goriva bitno utiče na realizaciju snage i obrtnog momenta motora. Za ekonomičan rad motora neophodno je da gorivo ima odgovarajuće eksploatacione karakteristike koje su regulisane odgovarajućim standardima u zemlji upotrebe. Gorivo mora da ispuni sledeće uslove: stvaranje optimalne smeše neophodne za dobro sagorevanje, maksimalno iskorišćenje toplotne energije, minimalno stvaranje čađi i sprečavanje nastanka korozije (*Topalo, 1996*). Režim rada motora određen je regulatorskom karakteristikom. Režim rada motora, u određenim uslovima rada traktora, treba da bude takav da je što bliži nominalnom opterećenju pri punom dovodu goriva, jer se tada postižu najbolji ekonomski pokazatelji u radu (*Mićić et*

al., 1997). Smanjenje protoka vazduha kroz prečistač vazduha može dovesti do smanjenja snage motora za više od 10%, a potrošnja goriva može porasti za 4% ili više (*Hinić, 1986*). Obrtni moment prenosi se preko mašinskih elemenata i mašinskih sklopova. Vučna sila realizuje se putem transmisije i hodnog mehanizma traktora, te generalno stanje podešenosti i pohabanosti pomenutih elemenata i njihovog podmazivanja može bitno uticati na konačnu realizaciju snage i obrtnog momenta. Tako, na primer, loša podešenost spojnice može dovesti do proklizavanja u spojnici i samim tim do lošeg prenosa snage i obrtnog momenta dalje na transmisiju (*Božić et al., 2006*). Transmisija sa svojim stanjem podešenosti i regulisanosti mašinskih sklopova utiče na potrošnju goriva pa samim tim i na konačnu realizaciju snage na traktoru (*Butkov i Prokudin, 1976*). Isti autori takođe navode da nema tačnih podataka o intenzitetu uticaja transmisije na ukupne gubitke ali je eksperimentalno utvrđeno da gubici u transmisiji mogu dostići i 15-25%.

Postoji više podela snage koja se može meriti na traktoru (*Alcock, 1986*):

1. Indikatorska snaga - je snaga na čelu klipa motora, tj. snaga u cilindru motora i izračunava se analitički.
2. Efektivna snaga - meri se na zamajcu motora i mora se izmeriti na probnom stolu pre spajanja motora i transmisije.
3. Izlazna snaga - meri se na priključnom vratilu traktora (P_{pvt}) ili na poteznici (P_{pot}). Snaga merena na priključnom vratilu traktora zavisi od koeficijenta iskorišćenja transmisije. Snaga merena na poteznici zavisi od stanja pneumatika, stanja podloge, vlažnosti zemljišta, mase traktora...

Pojavom „Common rail“ sistema tj. sistema zajedničke cevi za brizgaljke došlo je do velikog pomaka u iskorišćenju goriva tj. snage motora. Radni pritisci u sistemu Common rail dostižu i 2000 bar, te se elektronski kontrolisanim brizgaljkama i visokim pritiskom u sistemu gorivo raspršuje neuporedivo bolje od klasičnog sistema u kome učestvuje pumpa visokog pritiska i mehanička brizgaljka. Kapljice goriva su mnogo sitnije i homogenije raspoređene u cilindru, te sagori veći procenat goriva. U klasičnom sistemu pritisci su između 130-210 bar pa je sagorevanje goriva lošije nego kod Common rail sistema. Razvojem drugih elektronskih sistema, senzorske tehnike i IT sektora došlo je do još većeg pomaka u iskorišćenju goriva, snage i obrtnog momenta na traktoru (*Šterba et al, 2011*). Iako su današnji senzori pouzdani, CAN (Controler Area Network) bus sistemi su uglavnom programirani da sva očitavanja senzora prikazuju u procentima ili nekoj drugoj vrednosti koju kontroler prepoznaje. Stoga npr. snagu motora je moguće izmeriti na osnovu podataka o obrtnom momentu na zamajcu i ugaone brzine kolenastog vratila. Kontroleri svih modernih traktora mere obrtni moment pomoću senzora na zamajcu. Iako ovaj podatak postoji, nije ga moguće iskoristiti za proračun snage motora jer vrednosti očitavanja senzora nisu date u Nm nego u nekoj drugoj vrednosti koju kontroler prepoznaje i koristi je za upravljanje drugim sistemima traktora. Dakle, najpouzdaniji način za merenje snage motora je korišćenje dinamometra koji se povezuje sa traktorom preko priključnog vratila (*Sedlák et al., 2010*). Daljim razvojem elektronskih komponenti i senzorske tehnike omogućena je kontrola praktično svih sistema traktora koji imaju uticaj na ekonomičnost u radu i maksimalno iskorišćenje snage traktora.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Ispitivanja su obavljena na dva traktora Case IH Puma 155 serijskih brojeva ZHBL50919 (traktor T1) i ZHBL51052 (traktor T2), *slika 1*. Tehničke karakteristike traktora date su u *tabeli 1*. Za merenje snage i obrtnog momenta korišćen je mobilni dinamometar Froment Sigma 50, *slika 1*. Tehničke karakteristike dinamometra date su u *tabeli 2*. Za uzimanje podataka o režimu rada traktora korišćena je standardna servisna dijagnostika CNH mašina (ETC-Electronic Service Tool) koja je omogućavala nadgledanje radnih parametara svih bitnih sistema na traktoru, *slika 2*.

Slika 1. Traktor Case IH Puma 155 i dinamometar Froment Sigma 50

Figure 1. Case IH Puma 155 tractor and Froment Sigma 50 dynamometer

Slika 2. CNH dijagnostika

Figure 2. CNH diagnostics

Tab. 1. Tehničke karakteristike traktora Case IH Puma 155

Tab. 1. Technical characteristics of Case IH Puma 155 tractor

Zapremina motora (l)	6,7	Tip transmisije	Semi power shift
Prečnik/hod (mm)	104/132	Brzine napred/nazad	18/6
Nominalna snaga (kW/KS)	114/155	Tip spojnice	Hidraulična vlažna spojnica
Sistem za napajanje motora gorivom	Common rail	Masa traktora (kg)	6615
Prečistač vazduha	Suvi sa duplim papirnim uloškom	Međuosovinsko rastojanje (mm)	2730
Stepen kompresije	17,5:1	Dimenzije D/Š/V (mm)	4449/2682/2985
Prenosni odnos PVT 1000 min⁻¹	2,12	Prenosni odnos PVT 540E min⁻¹	2,86
Prenosni odnos PVT	3,65	Tip i protok pumpe	PFC-prepressure flow

540 min⁻¹		hidraulike (l/min)	compensated / 100,3
-----------------------------	--	---------------------------	----------------------------

Tab. 2. Tehničke karakteristike dinamometra Froment Sigma 50.

Tab. 2. Technical characteristics of the Froment Sigma 50 dynamometer.

Maksimalna snaga pri merenju na PVT, max. 1000 o /min (kW/KS)	380/515	Maksimalna snaga pri direktnom merenju, max. 1800 o/min (kW/KS)	380/515
Maksimalan obrtni moment pri merenju na PVT, max. 800 o/min (Nm)	3170	Maksimalan obrtni moment pri direktnom merenju, max. 1460 o/min (Nm)	1790
Masa dinamometra (kg)	1780	Dimenzije D/Š/V (mm)	1729/1850/3700

Mobilni dinamometar Froment Sigma 50 radi na principu stvaranja električne struje i potrošnje struje od strane otpornika, pa se na ovaj način opterećuje generator i samim tim i traktor, *slika 3*. Postoje sledeći režimi merenja snage i obrtnog momenta na motoru ili traktoru:

1. Merenje pomoću konstantne brzine - Podešavanjem željene brzine PVT-a kontroler dinamometra će prilagoditi opterećenje sve dok se ne postigne potrebna brzina, onda će kontroler održavati brzinu dok će dolaziti do promene opterećenja. U ovom režimu rada, snaga se može meriti na nominalnom broju obrtaja PVT ili pri nominalnom broju obrtaja motora.
2. Merenje pomoću ručnog opterećenja - Podešavanje opterećenja se radi ručno pritiskanjem + ili – tastera na kontroleru (*slika 3, pozicija 7*) pri čemu se daje signal kontrolnom modulu (*slika 3, pozicija 4*) da isporuči više ili manje električne struje potrošaču tj., otpornicima (*slika 3, pozicija 6*) i na osnovu toga dolazi do promene opterećenja traktora.
3. Merenje pomoću konstantne snage - Merenjem u ovom režimu rada, kontroleru se daje informacija o konstantnoj snazi koju je potrebno održavati, pri čemu će u toku merenja doći do promene broja obrtaja i obrtnog momenta.
4. Automatski režim rada - je ujedno i najpouzdaniji, jer je ljudska greška svedena na minimum, te je ovaj režim rada korišćen u ovom radu za merenje snage i obrtnog momenta na traktoru.

Osnovni delovi dinamometra su: kardansko vratilo, transmisija, Burden unit generator (generator naizmenične struje), kontrolni modul i regulator, kontroler ili PC računar, električni otpornici i ventilator za hlađenje uređaja, *slika 3*. Dinamometar je povezan sa traktorom pomoću kardanskog vratila, koje spaja PVT i transmisiju dinamometra. Na izlazu iz transmisije dinamometra nalazi se generator naizmenične struje koji je povezan sa nizom električnih otpornika. Dinamometar koči PVT pomoću napona opterećenja (ekstreman pad napona (V/A)) tako što kontrolni modul i regulator preko generatora isporučuju određenu količinu električne struje i napona otpornicima i na taj način se generator opterećuje, te se na taj način dobija kočenje uređaja i automatski opterećenje na PVT. Ovo za rezultat ima visok intenzitet grejanja električnih otpornika, pa

je potreban ventilator za hlađenje istih. Snaga i obrtni moment se mere na osnovu proračuna između izlazne struje iz generatora i brzine ulaznog vratila.

Slika 3. Blok šema rada dinamometra Froment Sigma 50

1-kardansko vratilo, 2-transmisija, 3-generator naizmenične struje,
4-kontrolni modul i regulator, 5-ventilator, 6-otpornici, 7-kontroler ili PC računar

Figure 3. Block diagram of the Froment Sigma 50 dynamometer
1-PTO shaft, 2-transmission, 3-AC generator,
4-controller module and controller, 5-fan, 6-resistors, 7-controller or PC

Cilj ispitivanja bilo je merenje i poređenje snage i obrtnog momenta na dva potpuno ista traktora u potpuno istim ambijentalnim i tehničko tehnološkim uslovima. Merenja na traktoru T1 (3,2 radna časa) obavljena su 2.3.2018. godine, a na traktoru T2 (4,3 radna časa) 3.3.2018. godine. Merenja su sprovedena u servisnoj prostoriji kompanije Titan Machinery DOO, Rumenački put, 119 V. Temperatura vazduha u servisnoj prostoriji u oba dana merenja bila je 15 °C. Merenja su vršena na 3 režima rada PVT-a sa po 4 ponavljanja za svaki režim rada. Prvi režim rada bio je na 1000 o/min sa nazivnim brojem obrtaja motora od 2120 o/min i prenosni odnos je iznosio 2,12. Drugi režim rada je bio na 540 o/min PVT-a sa nazivnim brojem obrtaja motora od 1969 i prenosnim odnosom 3,65. Treći režim rada bio je na 540E o/min sa nazivnim brojem obrtaja motora od 1546 o/min i prenosni odnos je iznosio 2,86. Između promene broja obrtaja PVT pravljen je pauza od 10 min. Pre početka merenja oba traktora grejana su pola sata pomoću protokomera pri 1600 o/min dok svi radni parametri nisu došli u normalne radne uslove. Praćenje radnih sistema traktora je vršeno pomoću CNH servisne dijagnostike, tj. EST (Electronic Service Tool, slika 2). Na dinamometru je korišćen automatski režim merenja u cilju eliminisanja ljudske greške. Softver koji je korišćen za prikupljanje podataka sa merenja je licencirani Froment'sDynaTest. Na ovom softveru se za svako merenje dobija pun izveštaj o svim ulaznim (unesenim) i izlaznim (izmerenim) parametrima. Za oba traktora usvojen je koeficijent iskorišćenja transmisije od 95 %.

2.1. Statistički aparat

Kako je bilo potrebno ispitati postojanje statistički značajnih razlika između snaga oba traktora pri različitim uslovima rada i pri istim obrtajima motora, korišćen je upareni t -test ("paired t -test") kod kojeg je nulta hipoteza da nema razlike između parova snaga za određeni broj obrtaja motora dobijenih kod dva traktora. Pošto u eksperimentalnim podacima nema poklapanja u broju obrtaja motora, ni pri ponavljaju svakog eksperimenta, niti pri različitim brzinama obrtaja vratila, bilo je potrebno formirati tri regresione krive za svaku od tri različite brzine. Regresiona kriva bi bila funkcija snage traktora od broja obrtaja motora. Tada je tek bilo moguće uporediti snage pri istom broju obrtaja motora i zbog toga nam je potrebna nelinearna regresiona analiza za formiranje regresione krive. Naime, intervali u kojima su se kretali obrtaji motora traktora podeljeni su na određeni broj jednakih podintervala (iste dužine) i u granicama tih podintervala nađene su vrednosti snage uvrštavanjem vrednosti broja obrtaja motora u regresioni model. Provera značajnosti regresionih modela izvedena je pomoću koeficijenta determinacije R^2 i preko F -testa. Sva statistička ispitivanja urađena su sa nivoom poverenja 95%.

Da bismo uporedili maksimalne snage traktora pomoću dobijenih regresionih krivih, korišćen je diferencijalni račun u određivanju maksimalne snage pri određenom broju obrtaja motora.

Matematičke operacije i grafici obrađeni su u programskom paketu Mathematica 11.3, dok je statistička obrada urađena u paketu Statistica 13.5.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA SA DISKUSIJOM

3.1. Princip rada Power boost uređaja

Traktor Case IH Puma 155 ima Power boost na raspolaganju u višim transportnim brzinama (od 14 do 18 brzine) i prilikom korišćenja PVT-a. Uslovi i princip rada power boost sistema u dva pomenuta režima biće detaljnije opisani u daljem tekstu. Power boost na ovom tipu traktora se ne može ručno uključivati i isključivati. Dostupnost Power boosta je u potpunosti automatizovana (kontroler traktora uključuje-isključuje po potrebi) i power boost je konstantno na raspolaganju ukoliko se ispune uslovi koji su potrebni za njegovo uključjenje. Sistem Power boosta na ovom tipu traktora radi na osnovu očitavanja i obrade podataka iz više senzora sa traktora. Prva informacija koju kontroler obrađuje su vrednosti koju očitava senzor obrtnog momenta na zamajcu motora (Flywheel torque sensor) koji se nalazi na zvonu menjača sa desne strane traktora posmatrano u pravcu kretanja traktora, *slika 4*. Druga informacija je očitana vrednost senzora brzine kolenastog vratila (Crankshaft speed sensor), *slika 5 (pozicija 1)*, koji se nalazi pored senzora obrtnog momenta na zamajcu. Treća informacija je očitana vrednost senzora obrtnog momenta sa izlaznog vratila iz transmisije prema PVT-u, tj. senzor uvijanja PVT (PTO twist sensor), *slika 6 (pozicija 1)*, koji se nalazi na izlazu iz menjača sa leve strane kućišta posmatrano u pravcu kretanja traktora. Četvrta informacija je očitana vrednost senzora broja obrtaja PVT (PTO speed sensor), *slika 6 (pozicija 2)*, koji se nalazi iznad PVT na centralnoj osi traktora. Peta informacija je očitana vrednost senzora brzine kretanja na točku traktora (Wheel speed sensor), *slika 5 (pozicija 2)*, koji se nalazi na desnoj strani kućišta menjača posmatrano u pravcu kretanja traktora ili informacija o brzini kretanja traktora od radara (ukoliko ga ima). Poslednja informacija je očitana vrednost sa senzora temperature rashladne tečnosti motora (Engine temperature sensor).

Slika 4. Senzor obrtnog momenta na zamajcu

Figure 4. Torque sensor on flywheel

Slika 5. Senzor brzine kolenastog vratila (1) i senzor brzine na točku traktora (2)

Figure 5. Crankshaft speed sensor (1) and tractor wheel speed sensor (2)

Slika 6. Senzor uvijanja PVT (1) i senzor brzine PVT (2)

Figure 6. PVT twist sensor (1) and PVT speed sensor (2)

Da bi Power boost funkcionisao, potrebno je da kalibracione vrednosti svih senzora budu u odgovarajućem opsegu (ove vrednosti su propisane od strane proizvođača) i da su svi senzori ispravni, tj. da traktor nema aktivan kod greške. Svi pomenuti senzori (osim senzora za merenje temperature rashladne tečnosti motora) rade na principu merenja napona u jedinici vremena koji mere puls mašinskog dela ili mašinskog sklopa koji je predmet merenja. Dva najbitnija senzora za kontrolu power boost sistema su senzor obrtnog momenta na zamajcu (Flywheel torque sensor) i senzor uvijanja PVT (PTO twist sensor). Ovi senzori imaju tri pina na konektoru (slika 7) od kojih je jedan napajanje 12 V (pozicija 1), jedan masa (pozicija 3) i jedan signal (pozicija 2). Ukoliko se pozicija brega rotirajućeg dela ne poklapa sa čelom senzora, senzor neće dati signal. Ukoliko se breg rotirajućeg dela poklopi sa čelom senzora, senzor će dati signal od 2,6 V (sa oscilacijama od $\pm 0,2$ V), slika 8.

Slika 7. Senzor uvijanja PVT i senzor obrtnog momenta na zamajcu (1- Napajanje (12 V), 2-Signal, 3-Masa)

Figure 7. PVT twist sensor and flywheel torque sensor (1-Power (12V), 2-Signal, 3-Mass)

Slika 8. Dijagram pulsacije sezora za merenje obrtnog momenta

Figure 8. Season pulsation diagram to measure torque

Kvar bilo kog senzora je šifriran odgovarajućim kodom i automatski se pojavljuje na displeju traktora. Pored osnovnih navedenih uslova o ispravnosti i kalibracionim vrednostima senzora, za pravilno funkcionisanje Power boost sistema potrebno je ispuniti sledeće uslove:

1. Broj obrtaja motora mora biti minimalno 1300 o/min,
2. Temperatura rashladne tečnosti motora mora biti ispod 105 °C,
3. PVT mora imati obrtni moment od minimum 250 Nm (Power boost dostupan na PVT),
4. Brzina kretanja traktora mora biti minimum 0,5 km/h (Power boost dostupan u transportnim brzinama),
5. Traktor mora biti u minimalno 14-16 brzini i tada ima na raspolaganju 50 % od ukupno dostupne Power boost snage (Power boost dostupan u transportnim brzinama) i
6. U 16-18 brzini traktor ima na raspolaganju 100 % dostupne Power boost snage (Power boost dostupan u transportnim brzinama).

Ukoliko su ispunjeni osnovni uslovi i gore navedeni dodatni uslovi, kontroler traktora će aktivirati Power boost nakon obrade svih vrednosti koje su senzori očitali. Aktivacija Power boost-a u režimu rada na PVT će biti moguća i njegov intenzitet će zavisiti od vrednosti očitavanja sa senzora uvijanja PVT-a (PTO twist sensor). Očitavanjem ove vrednosti, kontroler će, po potrebi, dodeliti više goriva-vazduha u cilindar motora te će na taj način povećati snagu tj. obrtni moment koliko je potrebno, u ovom režimu rada. Aktivacija Power boost-a u režimu rada u višim transportnim brzinama biće moguća i zavisice od poređenja očitanih vrednosti sa senzora obrtnog momenta zamajca (Flywheel torque sensor) i senzora obrtnog momenta na izlaznom vratilu iz transmisije prema PVT-u (PTO twist sensor). Očitavanja sa ova dva senzora (PTO twist sensor, Flywheel torque sensor) su od ključne važnosti za rad power boost-a i na osnovu njih kontroler donosi odluku o potrebnom intenzitetu power boost-a. Očitavanja sa ostalih senzora kontroleru služe za kontrolu podataka i te vrednosti su kalibracione (PTO speed sensor, Wheel speed sensor), tj. služe kao meta koju treba dostići, dok vrednost očitavanja drugih senzora služi kao uslov za aktivaciju Power boost sistema (Crankshaft speed sensor i Engine temperature sensor). Npr. ukoliko traktor isporučuje 320 Nm na PVT (uz pretpostavku da je to u tom momentu nazivna-gornja kalibraciona vrednost PTO twist sensor-a za taj režim rada traktora) i u momentu dođe do povećanja obrtnog momenta na 350 Nm (ostali sistemi traktora su u ne promenjenom režimu rada) i to povećanje traje duže od 1 sec, indikatorska lampica u kabini će se upaliti i dati do znanja da je power boost na raspolaganju. Ukoliko otpor ostane ne promenjen još 4 sec, tj. obrtni moment na PVT ostane i dalje 350 Nm, kontroler će dozirati količinu goriva-vazduha cilindru motora dovoljnu da smanji otpor tj. obrtni moment na nazivnih 320 Nm i održava ga na tom nivou. Treba napomenuti da je maksimalna količina snage i obrtnog momenta koja je dostupna aktivacijom power boost-a uvek niža od maksimalne snage i obrtnog momenta koju motor može da isporučiti.

3.2. Rezultati istraživanja

Regresiona kriva koja predstavlja zavisnost snage P od broja obrtaja motora n data je modelom (1)

$$P(n) = b_3 \cdot n^3 + b_2 \cdot n^2 + b_1 \cdot n + b_0. \quad (1)$$

U tabelama 3 i 4, dati su regresioni koeficijenti modela (1) za tipove traktora ZHBL50919 i ZHBL51052, redom, ako je broj obrtaja vratio 1000 obrtaja u minuti.

Tabela 3. Ocena parametara modela (1) za vrstu traktora ZHBL50919, ako je broj obrtaja na vratilu 1000 o/min

Table 3. Model parameter estimation (1) for tractor type ZHBL50919, if the shaft speed is 1000 rpm

	Estimate	Standard error	Conf. interval
b_3	$-3.824 \cdot 10^{-8}$	0.00000	$(-3.824 \cdot 10^{-8}, -3.824 \cdot 10^{-8}) R^2 99.7\%$
b_2	$1.037 \cdot 10^{-4}$	0.00003	$(0.465 \cdot 10^{-4}, 1.609 \cdot 10^{-4}) F 288628.1$
b_1	$2.983 \cdot 10^{-2}$	0.04251	$(-0.547 \cdot 10^{-2}, 11.431 \cdot 10^{-2}) p 0.00000$
b_0	7.075	20.48183	$(-33.628, 47.779)$

Tabela 4. Ocena parametara modela (1) za vrstu traktora ZHBL51052, ako je broj obrtaja na vratilu 1000 o/min

Table 4. Estimation of model parameters (1) for tractor type ZHBL51052, if the shaft speed is 1000 rpm

	Estimate	Standard error	Conf. interval
b_3	$-5.103 \cdot 10^{-8}$	0.00000	$(-5.103 \cdot 10^{-8}, -5.103 \cdot 10^{-8}) R^2 99.8\%$
b_2	$1.579 \cdot 10^{-4}$	0.00002	$(1.143 \cdot 10^{-4}, 2.015 \cdot 10^{-4}) F 459473.3$
b_1	$-4.645 \cdot 10^{-2}$	0.03243	$(-11.089 \cdot 10^{-2}, 1.799 \cdot 10^{-2}) p 0.00000$
b_0	37.438	15.61968	$(6.397, 68.479)$

Na slici 9, prikazani su eksperimentalni podaci i regresione krive za oba traktora ako je broj obrtaja vratila 1000 o/min. Krive su dobijene pomoću modela (1) i koeficijenata u tabelama 3 i 4.

Slika 9. Zavisnost snage motora od broja obrtaja motora kod obe vrste traktora, eksperimentalni podaci i regresione krive, broj obrtaja vratila 1000 o/min.

Figure 9. Dependence of engine power on engine speed in both tractor types, experimental data and regression curves, rpm 1000 rpm.

U tabeli 5 dati su rezultati uparenog t -testa za snage oba traktora ako je broj obrtaja vratila 1000 obrtaja u minuti. Test je potvrdio da postoje značajne razlike u snagama traktora u korist ZHBL50919 traktora ($t = 56.4016 > t_{50,0.05} \in (2.000, 2.021)$).

Tabela 5. Uporedni *t*-test srednjih vrednosti snaga traktora ZHBL50919 i ZHBL51052, ako je broj obrtaja na vratilu 1000 o/min

Table 5. Comparative *t*-test of the mean values of tractor power ZHBL50919 and ZHBL51052, if the shaft speed is 1000 rpm

	Mean	Std. Dv.	N	Diff.	Std. Dv. Diff.	<i>t</i>	df	p	Conf. interv.
traktor ZHBL50919	150.2172	23.5010	51	5.5893	0.7077	56.4016	50	0.00	(5.3902, 5.7883)
traktor ZHBL51052	144.6279	22.9861							

U tabelama 6 i 7 dati su regresioni koeficijenti modela (1) za tipove traktora ZHBL50919 i ZHBL51052, redom, ako je broj obrtaja vratila 540 obrtaja u minuti.

Tabela 6. Ocena parametara modela (1) za vrstu traktora ZHBL50919,

ako je broj obrtaja na vratilu 540 o/min

Table 6. Estimation of model parameters (1) for tractor type ZHBL50919, if the shaft speed is 540 rpm

	Estimate	Standard error	Conf. interval
b_3	$-4.705 \cdot 10^{-7}$	0.0000	$(-4.705 \cdot 10^{-7}, -4.705 \cdot 10^{-7})$ R^2 97.8%
b_2	$2.260 \cdot 10^{-3}$	0.0004	$(1.404 \cdot 10^{-3}, 3.117 \cdot 10^{-3})$ F 185921.2
b_1	-3.456	0.7042	$(-4.969, -2.123)$ p 0.00
b_0	1972.5	388.30	$(1187.7, 2757.3)$

Tabela 7. Ocena parametara modela (1) za vrstu traktora ZHBL51052,

ako je broj obrtaja na vratilu 540 o/min

Table 7. Estimation of model parameters (1) for tractor type ZHBL51052, if the shaft speed is 540 rpm

	Estimate	Standard error	Conf. interval
b_3	$-3.970 \cdot 10^{-7}$	0.0000	$(-3.970 \cdot 10^{-7}, -3.970 \cdot 10^{-7})$ R^2 97.4%
b_2	$1.889 \cdot 10^{-3}$	0.0006	$(0.777 \cdot 10^{-3}, 3.001 \cdot 10^{-3})$ F 105939.2
b_1	-2.918	0.8914	$(-4.720, -1.117)$ p 0.00
b_0	1611.4	479.36	$(1187.677, 2757.264)$

Na slici 10, prikazani su eksperimentalni podaci i regresione krive za oba traktora ako je broj obrtaja vratila 540 obrtaja u minuti. Krive su dobijene pomoću modela (1) i koeficijenata u tabelama 6 i 7.

Slika 10. Zavisnost snage motora od broja obrtaja motora kod obe vrste traktora, eksperimentalni podaci i regresione krive, broj obrtaja vratila 540 o/min.

Figure 10. Dependence of engine power on engine speed in both tractor types, experimental data and regression curves, shaft speed 540 rpm.

U tabeli 8 dati su rezultati uparenog t -testa za snage oba traktora ako je broj obrtaja vratila 540 obrtaja u minuti. Test je ponovo potvrdio da postoje značajne razlike u snagama traktora u korist ZHBL50919 traktora ($t = 35.8512 > t_{33,0.05} \in (2.021, 2.042)$).

Tabela 8. Uporedni t -test srednjih vrednosti snaga traktora ZHBL50919 i ZHBL51052, ako je broj obrtaja na vratilu 540 o/min

Table 8. Comparative t -test of the mean values of tractor power ZHBL50919 and ZHBL51052, if the shaft speed is 540 rpm

	Mean	Std. Dv.	N	Diff.	Std. Dv. Diff.	t	df	p	Conf. interv.
traktor ZHBL50919	160.0617	8.0168	34	5.7190	0.9302	35.8512	33	0.00	(5.3945, 6.0436)
traktor ZHBL51052	154.3427	8.8962							

U tabelama 9 i 10 dati su regresioni koeficijenti modela (1) za tipove traktora ZHBL50919 i ZHBL51052, redom, ako je broj obrtaja vratila 540e obrtaja u minuti.

Tabela 9. Ocena parametara modela (1) za vrstu traktora ZHBL50919, ako je broj obrtaja na vratilu 540e o/min

Table 9. Model parameter estimation (1) for tractor type ZHBL50919, if the shaft speed is 540e rpm

	Estimate	Standard error	Conf. interval	
b_3	$-5.109 \cdot 10^{-7}$	0.0000	$(-5.109 \cdot 10^{-7}, -5.109 \cdot 10^{-7})$	R^2 93.4%
b_2	$1.763 \cdot 10^{-3}$	0.0004	$(0.946 \cdot 10^{-3}, 2.580 \cdot 10^{-3})$	F 9822.0
b_1	-1.890	0.4999	$(-2.892, 0.889)$	p 0.00
b_0	738.21	201.47	$(334.61, 1141.80)$	

Tabela 10. Ocena parametara modela (1) za vrstu traktora ZHBL51052, ako je broj obrtaja na vratilu 540e o/min

Table 10. Estimation of model parameters (1) for tractor type ZHBL51052, if the shaft speed is 540e rpm

	Estimate	Standard error	Conf. interval	
b_3	$-6.680 \cdot 10^{-7}$	0.0000	$(-6.680 \cdot 10^{-7}, -6.680 \cdot 10^{-7})$	$R^2 97.7\%$
b_2	$2.260 \cdot 10^{-3}$	0.0003	$(1.751 \cdot 10^{-3}, 2.769 \cdot 10^{-3})$	$F 26404.0$
b_1	-2.407	0.2993	$(-3.007, -1.806)$	$p 0.00$
b_0	940.49	116.28	$(677.16, 1143.82)$	

Na slici 11, prikazani su eksperimentalni podaci i regresione krive za oba traktora ako je broj obrtaja vratila 540e obrtaja u minuti. Krive su dobijene pomoću modela (1) i koeficijena u tabelama 9 i 10.

Slika 11. Zavisnost snage motora od broja obrtaja motora kod obe vrste traktora, eksperimentalni podaci i regresione krive, broj obrtaja vratila 540e o/min.

Figure 11. Dependence of engine power on engine speed in both tractor types, experimental data and regression curves, shaft speed 540e rpm

U tabeli 11 dati su rezultati uparenog t -testa za snage oba traktora ako je broj obrtaja vratila 540e obrtaja u minuti. Potvrđeno je da postoje značajne razlike u snagama traktora u korist ZHBL50919 traktora ($t = 12.0353 > t_{36,0.05} \in (2.021, 2.042)$).

Tabela 11. Uporedni t -test srednjih vrednosti snaga traktora ZHBL50919 i ZHBL51052, ako je broj obrtaja na vratilu 540e o/min

Table 11. Comparative t -test of the mean values of tractor power ZHBL50919 and ZHBL51052, if the shaft speed is 540e rpm

	Mean	Std. Dv.	N	Diff.	Std. Dv. Diff.	t	df	p	Conf. interv.
traktor ZHBL50919	126.1781	17.7004	37	5.6005	2.8306	12.0353	36	0.00	(4.6567, 6.5442)
traktor ZHBL51052	120.5776	16.0764							

3.3 Diskusija

Posmatrajući regresione funkcije (1) i tražeći njihove maksimume korišćenjem diferencijalnog računa, tada pri brzini PVT-a od 1000 min^{-1} je utvrđeno da traktor ZHBL50919 ima maksimalnu snagu 176,1 KS pri broju obrtaja $1942,2 \text{ o/min}$ što je 4,06% više dostupne snage od traktora ZHBL51052 čija je maksimalna snaga 169,2 KS pri $1903,7 \text{ o/min}$. Dalje, na 540 min^{-1} , maksimalna snaga traktora ZHBL50919 je 169,3 KS ($n=1829,9 \text{ o/min}$), a traktora ZHBL51052 164,6 KS ($n=1842,7 \text{ o/min}$), a to znači da traktor ZHBL50919 ima 2,88 % više dostupne snage. Maksimalna snaga pri brzini PVT-a od 540 min^{-1} za traktor ZHBL50919 je 147,2 KS ($n=1451,0 \text{ o/min}$), a za traktor ZHBL51052 138,0 KS ($n=1394,3 \text{ o/min}$) pa prvi traktor ima 6,66% više dostupne snage.

Pri brzini PVT-a od 1000 min^{-1} traktor ZHBL50919 ima 4,43 % viši max obrtni moment od traktora ZHBL51052, dok na 540 min^{-1} ima 3,86 % viši max obrtni moment. Pri brzini PVT-a od 540 min^{-1} traktor ZHBL50919 ima 4,16 % viši obrtni moment od traktora ZHBL51052.

Oba traktora su imala intenzitet snage viši od nominalnih 155 KS u svim brzinama PVT-a osim u slučaju traktora ZHBL51052 pri 540 min^{-1} , gde je na pomenutom traktoru izmerena 8,24 % niža snaga od nominalne.

4. ZAKLJUČAK

Razlika u snazi i obrtnom momentu se najlakše može objasniti kroz razlike u kalibracionim vrednostima senzora obrtnog momenta na zamajcu (Flywheel torque sensor) i senzora uvijanja PVT-a (PTO twist sensor). Naime, mikro odstupanja u kalibracionim vrednostima pomenutih senzora mogu dovesti do značajnog smanjenja snage i obrtnog momenta na traktorima novije generacije. Iz ovoga se može zaključiti da su procedure nultog servisa pre isporuke traktora kupcu od krucijalnog značaja za ispravno funkcionisanje traktora. Stoga bi, kao standardnu proceduru pri nultom servisu, trebalo uvesti merenje snage i obrtnog momenta na dinamometru na svakom traktoru. Problem u razlici kalibracionih vrednosti senzora se rešava ponavljanjem kalibracije kritičnog senzora dok ne dođe u opseg vrednosti propisanih od strane proizvođača. Ukoliko nakon više ponavljanja kalibracione vrednosti ne budu u propisanim opsezima, potrebno je zameniti i kalibrisati kritični senzor i ponovo izmeriti snagu i obrtni moment na dinamometru. Proces je potrebno ponavljati sve dok snaga i obrtni moment ne dođu u granice nominalnih vrednosti. U toku eksploatacije traktora ne treba ignorisati eventualne kodove grešaka koji ukazuju na neispravnost nekog senzora, jer pogrešni podaci koje kritični senzori očitavaju mogu dovesti do nepravilnog rada traktora, te dovesti do nepotrebnih troškova u gorivu koje kontroler nepotrebno može isporučiti motoru, te ovi troškovi mogu prevazići cenu popravke. Takođe, prilikom pogrešnog očitavanja senzora, može doći i do smanjenja snage na traktoru, tj. kontroler može isporučiti manju količinu goriva od potrebne, pa traktor ne može isporučiti maksimalnu snagu i obrtni moment.

5. LITERATURA

1. Govoruščenko, N., J.: Avtomobilnoe toplivo, kak ego ekonomit, Viška škola, Harkov, 1979.
2. Butkov, P. P., Prokudin, I. N.: Ekonomija topliv i smazočnih matetrialov, Transport, Moskva, 1976.

3. Steva Božić, Rade Radojević, Zoran Mileusić. (2006). Operacionalizacija ekonomičnosti potrošnje goriva traktora Poljoprivredni fakultet – Beograd Godina XXXI Broj 4, decembar 2006. Strane: 59 – 69.
4. Mičić, J., Ercegović, Đ, Novaković, D., Đević, M., Oljača, M., Radivojević, D., Božić, S. Savremena poljoprivredna tehnika u biljnoj proizvodnji - monografija, Poljoprivredni fakultet, Institut za poljoprivrednu tehniku, Beograd, 1997
5. Topalo, L.: ABC maziva i goriva za vaše vozilo, Trgoauto, Beograd, 1996.
6. Hinić, M.: Štednja i supstitucija goriva i maziva kod motornih vozila, Vojnoizdavački novinski centar, Biblioteka Pravila i udžbenici, Beograd, 1986.
7. Ralph Alcock: Tractor-Implement Systems, 1986. Str. 24-25.
8. Štěrba, P., Čupera, J., Polcar, A. Automobily: Diagnostika motorových vozidel II. Brno: Avid, s.r.o. 2011.
9. Sedlák, P., Bauer, F., Čupera, J. Ověření přesnosti údajů získaných ze sítě CAN-BUS. In Advances in research of agricultural and environmental engineering. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2010. pp. 217–225
10. Novaković D, Obradović D, Martinov M, Uticaj režima rada traktora na bilans potrošnje goriva. Traktori I pogonske mašine, vol 6, en.o 2, p.13-18. Novi Sad 2001.
11. Mijatović A, Tamaš-Simin M, Vukoje V, Ekonomičnost proizvodnje žitarica u organskom sistemu gajenja, Poljoprivredni fakultet Novi Sad 2018, Letopis naučnih radova, Vol. 42, No 2, 49-57, UDK : 582.542.11
12. Case IH dealer portal. Power boost activation requirements. Knowledge articles ID : KA00585509 / 209958. Published Date : 21.04.2005.
13. Case IH dealer portal. Power boost testing procedure. Knowledge articles ID : KA00571831 / 115840. Published Date : 21.10.2016.
14. <http://www.fromentdynamometers.com/pdfs/dyno-manual-eng.pdf>

COMPARATIVE COMPARISON OF TWO TRACTORS OF THE SAME MODEL

Stanić N, Simikić M, Dedović N, Ponjičan O, Višacki V

Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia

SUMMARY

This paper measures and compares the power of the tractor on the PTO and the torque of two new same tractor models, which have motors with constantly available power boost. The measurements were carried out using a Froment Sigma 5 dynamometer in identical ambient and technologically technological conditions. The measurements were made on tractors Case IH Puma 155, rated at 155 hp (114 kW). Based on the results, it was concluded that the difference in maximum power was 6.66% (9.2 bhp) and the difference in maximum torque was 4.43% (32 Nm).

Keywords: power, torque, power boost, tractor, dynamometer.

Napomena: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu „Unapređenje kvaliteta traktora i mobilnih sistema u cilju povećanja konkurentnosti, očuvanja zemljišta i životne sredine“ evidencioni broj TR 31046, koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije.

Primljeno: 23. 02. 2019. god.

Prihvaćeno: 28. 02. 2019. god.