

UDK: 631.3

*Originalni naučni rad
Original scientific paper*

ANALIZA POTREBNIH KARAKTERISTIKA POGONSKOG MOTORA POLJOPRIVREDNOG TRANSPORTERA

Boris Stojić*, Ferenc Časnji, Aleksandar Poznić

*Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za mehanizaciju i
konstrukciono mašinstvo, Novi Sad*

Sažetak: U zavisnosti od uslova transporta, upotreba lakog poljoprivrednog transportnog vozila može predstavljati povoljniju alternativu upotrebi konvencionalnih načina transporta u poljoprivredi, odnosno traktora sa prikolicom ili teretnog vozila. Ovim putem moguće je postići doprinos povećanju energetske efikasnosti, poboljšanju zaštite zemljišta, efikasnijem obavljanju transportnih operacija i sl. U ovom radu analizira se razvoj poljoprivrednog transportera pre svega sa stanovišta potrebnih karakteristika pogonskog motora. Razmatrane su potrebne performanse sa aspekta vučno-brzinskih pokazatelja, ali i drugih relevantnih parametara. Potrebna snaga pogonskog motora treba da bude bliska intervalu od 25-35 kW. Konačan izbor motora koji će biti korišćen treba izvršiti na osnovu tehničko-ekonomske analize izvedenih rešenja raspoloživih na tržištu.

Ključne reči: *poljoprivreda, transport, vozilo, razvoj, pogonski motor*

UVOD

U poljoprivrednom transportu dominantnu ulogu danas, kao i u dosadašnjem periodu, ima upotreba traktora sa prikolicom. U pojedinim situacijama, međutim, opravdano je koristiti vozila manjeg kapaciteta, posebno razvijena i prilagođena lakom poljoprivrednom transportu. U slučaju prevoza ograničenih količina materijala, zamena traktora lakim transportnim vozilom doprinosi smanjenju potrošnje goriva i emisije štetnih gasova. Time se takođe daje doprinos povećanju bezbednosti saobraćaja smanjenjem zastupljenosti teške poljoprivredne mehanizacije u javnom saobraćaju.

* Kontakt autor: Boris Stojić, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad.
E-mail: bstojic@uns.ac.rs

Ovaj rad je realizovan u okviru Projekta TR-31046 "Unapređenje kvaliteta traktora i mobilnih sistema u cilju povećanja konkurentnosti, očuvanja zemljišta i životne sredine" finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Ovakvo vozilo, dalje, zbog kompaktne konstrukcije ostvaruje bolje manevarske sposobnosti, a ravnomernija raspodela težine na točkovima omogućava bolje propulzivne karakteristike i zaštitu poljoprivrednog zemljišta.

Potrebe za postojanjem alternativnog vozila za potrebe lakog poljoprivrednog transporta i pojedinih agrotehničkih operacija trenutno se ogledaju u upotrebi lakih terenskih četvorocikala i univerzalnih radnih vozila za ove aktivnosti. Pored ovih vrsta vozila, u upotrebi su već duže vreme i posebni namenski poljoprivredni transporteri, koji su doduše nešto slabije zastupljeni, što se može pripisati visoko specifičnim konstruktivnim parametrima. Ovaj rad se bavi razvojem novog koncepta vozila iz kategorije poljoprivrednih transporterata, koje može biti opremljeno dodatnim funkcionalnostima za obavljanje određenih operacija, a može biti korišćeno i za transportne poslove van poljoprivrede, npr. u komunalnim službama i sl.. U početnoj fazi razvoja potrebno je prvo izabrati pogonski motor na osnovu tehničkih i eksploatacionih uslova, da bi dalje na osnovu izabranog motora mogli da se izaberu i dimenzionišu ostali mehanički sklopovi vozila. Stoga će u radu biti analiziran razvoj vozila pre svega sa stanovišta potrebnih karakteristika pogonskog motora, u funkciji predviđenih uslova upotrebe. S obzirom na složenost postupka razvoja, njegovi drugi aspekti kao što su izbor generalnog koncepta vozila, njegovih sklopova i komponenata, radnih modula itd. biće razmatrani u drugim publikacijama.

MATERIJAL I METOD RADA

U radu su korišćeni standardni metodi inženjerskih proračuna iz odgovarajućih disciplina, kao i upotreba podataka iz relevantnih tehničkih publikacija.

REZULTATI I STRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Proračun potrebnih performansi pogonskog motora

Radi sticanja orijentacije o potrebnim performansama motora potrebno je izvršiti okvirni proračun snage potrebne za savladavanje otpora kretanja u nekim karakterističnim uslovima rada. Analizom generalnog koncepta vozila i uslova upotrebe (tretiranoj u okviru druge publikacije), došlo se do zaključka da je iz razloga pojednostavljenja sertifikacije vozila i smanjenja kriterijuma vezanih za potrebnu kategoriju vozačke dozvole korisnika preporučljivo da maksimalna brzina kretanja vozila ne prelazi 45 km h^{-1} , u kom slučaju se ono kategorizuje kao radna mašina. S obzirom na to da se za ovaj red veličine brzina kretanja aerodinamička dejstva mogu zanemariti, u transportnom režimu (tj. bez dejstva otpora radnog organa) na vozilo deluju sledeći otpori:

- otpor kotrljanja točkova, F_f
- otpor uspona, F_α
- otpor inercije, F_{IN}

Otpor kotrljanja F_f na podlozi sa uzdužnim nagibom pod uglom α može se, kao što je poznato, odrediti prema obrascu:

$$F_f = f \cdot G \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

gde je f – koeficijent otpora kotrljanja, a G tekuća vrednost težine vozila.

Otpor uspona, F_α , izračunava se prema obrascu:

$$F_\alpha = G \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

Otpor inercije F_{IN} merodavan je pri razmatranju parametara zaleta. Kod analize parametara ubrzanja, uobičajeno je vrednovanje karakteristika vozila na osnovu kriterijuma kao što su vreme odnosno put zaleta. Stoga ovde neće biti direktno analiziran otpor ubrzanja, već će, prema pojednostavljenom postupku, biti doneta procena vremena zaleta do određene brzine na osnovu snage pogonskog motora. Prema [1], vreme zaleta može se orijentaciono proceniti na osnovu maksimalne snage motora koristeći sledeći pristup, polazeći od bilansa snage:

$$dE_K = P_a \cdot dt \quad (3)$$

gde je: dE_K – elementarni priraštaj kinetičke energije, P_a – snaga koja stoji na raspolaganju za ubrzavanje na osnovu "viška" vučne sile (tj. razlike između pogonske sile na točku i otpora kretanja), dt – elementarni vremenski interval;

Prema predloženom pristupu, proces ubrzavanja analizira se tako da se usvoji pojednostavljenje prema kojem snaga P_a tokom ubrzanja ima konstantnu vrednost, $P_a = P_{SR} = const$; radi daljeg pojednostavljenja proračuna, usvaja se $P_{SR} = P_{MAX} / 2$, gde je P_{MAX} – maksimalna snaga motora.

U datom izvoru navode se podaci prema kojima predloženi pristup, iako vrlo aproksimativan, pokazuje visok stepen slaganja sa stvarnim parametrima zaleta izvedenih vozila, pa se može smatrati prikladnim za donošenje orijentacionih procena karakteristika zaleta. Uvrštavanjem navedenih pojednostavljenja u izraz (3), posmatrajući ubrzavanje vozila od $v=0$ do $v=v_{MAX}$, može se napisati:

$$m \cdot v_{MAX}^2 \approx P_{MAX} \cdot T_Z \quad (4)$$

gde je: m – masa vozila. Iz obrasca (4) može se približno proceniti vreme zaleta T_Z do zadate brzine v_{MAX} .

Da bi se sproveo proračun na osnovu prethodnih razmatranja, potrebno je poznavati težinu odnosno masu vozila, kao i koeficijente otpora kotrljanja za podloge po kojima se vozilo kreće. U nedostatku realnih podataka, pristupiće se usvajanju orijentacionih vrednosti. Na osnovu posebnih razmatranja vezanih za generalne karakteristike i koncept vozila, čije je publikovanje predviđeno u okviru posebnog rada, za orijentaciona izračunavanja otpora kretanja za težinu vozila sa punim opterećenjem usvaja se vrednost $G = 25000 \text{ N}$ – ukupna težina vozila.

Kada se vozilo kreće na tvrdoj podlozi, koeficijent otpora kotrljanja zavisi prevashodno od izabranih pneumatika, pa se može očekivati da vrednosti koeficijenta u ovom slučaju približno odgovaraju onima uobičajenim za drumska vozila, odnosno da budu reda veličine 0,01. Pošto će vozilo biti opremljeno gumama za vanputne uslove

koje karakteriše nešto kompleksniji gazeći sloj, gde se mogu očekivati nešto veći gubici histerezisa, za proračun otpora kotrljanja na tvrdoj podlozi biće usvojena sledeća vrednost koeficijenta $f = 0,015$ – koeficijent otpora kotrljanja na tvrdoj podlozi.

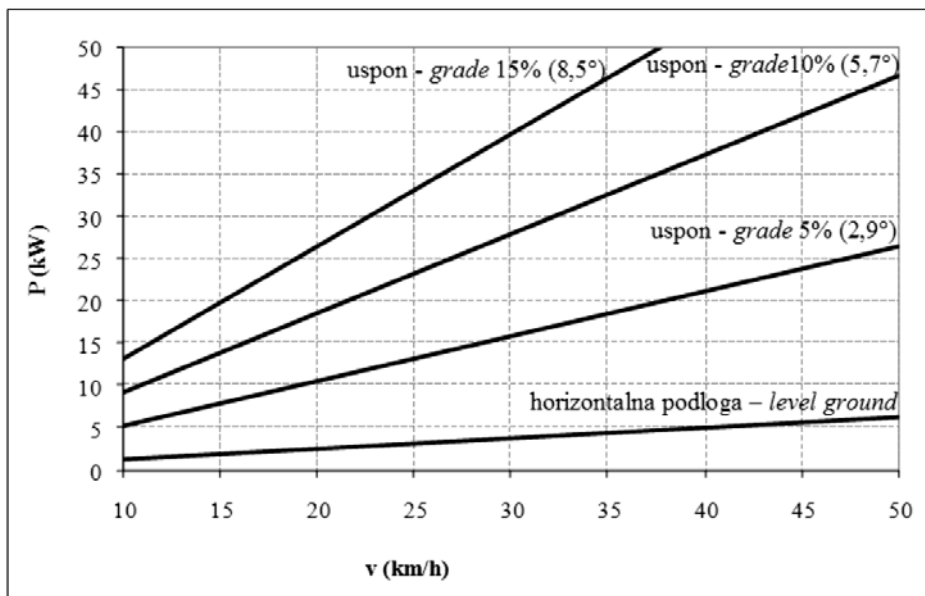
Opravdanost usvojene pretpostavke potvrđuju rezultati ispitivanja traktorskih pneumatika na tvrdim podlogama [2, 3].

Na mekim podlogama pretežni procenat energije potrebne za savlađivanje otpora kotrljanja potiče od deformacije podloge [6]. U zavisnosti od vrste i stanja podloge, kao i vrednosti pritiska pneumatika na podlogu, koeficijent otpora kotrljanja može varirati u veoma širokim granicama [4,5]. Za proračun otpora kotrljanja na mekoj podlozi biće usvojena vrednost $f = 0,1$ – koeficijent otpora kotrljanja na mekoj podlozi.

Usvojena vrednost približno odgovara srednjoj vrednosti za zemljane puteve [5].

Na osnovu prethodnih razmatranja izvršen je proračun potrebne snage na točku za različite uslove kretanja. Rezultati izračunavanja prikazani su na grafikonu 1 i u tabelama 1 i 2.

Na grafikonu 1 data je potrebna snaga motora u zavisnosti od brzine kretanja za potpuno opterećeno vozilo na tvrdoj podlozi, za različite nagibe podloge. Brzina kretanja potpuno opterećenog vozila na uzbrdici u javnom saobraćaju predstavlja važan pokazatelj bezbednosti u saobraćaju. Kapacitet pogonskog motora mora da obezbedi da vozilo i u ovim uslovima prema bude u mogućnosti da dostigne takvu brzinu da predstavlja što manju smetnju za ostala vozila koja se kreću po putu. Takođe, s obzirom na to da je reč o transportnom vozilu, brzina kretanja je veoma važan pokazatelj i kao faktor transportnog kapaciteta.



Grafik 1. Potrebna snaga motora P u zavisnosti od brzine kretanja v za potpuno opterećeno vozilo na tvrdoj podlozi, za različite nagibe podloge

Chart 1. Needed engine power P depending on velocity v for fully loaded vehicle on the firm ground, at different upward slopes

U tabeli 1 prikazane su vrednosti potrebne snage motora za konstantnu brzinu kretanja koja iznosi 5 km h^{-1} , u zavisnosti nagiba podloge, za potpuno opterećeno vozilo pri savlađivanju uspona na mekoj podlozi. Cilj ove tabele je da prikaže potrebnu snagu motora u zavisnosti od nagiba podloge, u situaciji savlađivanja strmih uspona. Iako je, teorijski, izborom odgovarajućeg prenosnog odnosa u transmisiji moguće postići dovoljno veliku vučnu silu pri bilo kojoj snazi motora, pri razmatranju realnih uslova neophodno je usvojiti neku vrednost brzine čije je dostizanje celishodno sa aspekta funkcionalnosti vozila kao transportnog sredstva. Vrednost od 5 km h^{-1} izabrana je proizvoljno ali u skladu sa navedenim kriterijumom.

U tabeli 2 dato je orijentaciono vreme zaleta T_Z do brzine od 40 km h^{-1} u zavisnosti od maksimalne raspoložive snage motora P_{MAX} . Vreme zaleta je, kao i brzina kretanja, važan pokazatelj bezbednosti u javnom saobraćaju i transportnog kapaciteta, što iziskuje da njegova vrednost bude uzeta u obzir pri dimenzionisanju pogonskog motora.

Tabela 1. Potrebna snaga motora P za konstantnu brzinu kretanja $v=5 \text{ km h}^{-1}$, u zavisnosti nagiba podloge, za potpuno opterećeno vozilo na mekoj podlozi

Table 1. Required engine power P for constant velocity $v=5 \text{ km h}^{-1}$, depending on upgrade angle, for fully loaded vehicle at the soft terrain

Uspón (%) Upgrade (%)	Ugao nagiba (°) Upgrade angle (°)	Potrebna snaga (kW) Required power (kW)
10	5,71	8,1
20	11,31	12,0
30	16,70	15,7
40	21,80	19,0
50	26,57	21,9
100	45,00	31,8

Tabela 2. Orijentaciono vreme zaleta T_Z do brzine $v = 40 \text{ km h}^{-1}$ u zavisnosti od maksimalne raspoložive snage motora P_{MAX}

Table 2. Approximate acceleration time up to 40 km h^{-1} depending on available engine power P_{MAX}

Maksimalna snaga motora Maximum engine power P_{MAX} [kW]	Vreme zaleta do 40 km h^{-1} Acceleration time to 40 km h^{-1} T_Z [s]
10	31,5
20	15,7
30	10,5
40	7,9
50	6,3

Na osnovu prikazanih rezultata izračunavanja, može se doneti zaključak o redu veličine potrebne snage pogonskog motora. Pri tome treba imati u vidu navedene kriterijume vezane za transportni kapacitet i bezbednost saobraćaja, a uzimajući u obzir očekivan frekventan rad u brdskim uslovima (usponi, meke podloge). Jednoznačni kriterijum za tačan izbor potrebne snage motora ne postoji, ali na osnovu prikazanih rezultata može se orijentaciono proceniti da vrednost maksimalne snage motora kojoj

treba težiti leži približno u zoni intervala 25-35 kW. Na performanse vozila, osim maksimalne snage, u velikoj meri utiče i sam tok krive snage odnosno obrtnog momenta.

Ostale relevantne karakteristike pogonskog motora

Zbog energetske efikasnosti i robusnosti Diesel motora, on predstavlja optimalni izbor za baznu izvedbu transporterera Kao alternativu Diesel motoru, treba takođe imati u vidu mogućnost korišćenja Otto motora prilagođenog upotrebi alternativnih pogonskih goriva kao što su TNG ili KPG.

Za konačan izbor potrebno je analizirati motore dostupne na tržištu i uzeti u obzir i ostala njihova svojstva prema kojima se može vrednovati njihova prikladnost za upotrebu u predmetnom vozilu, u koja treba ubrojati sledeće:

- potrošnja goriva
- pouzdanost i vek trajanja
- pogodnost održavanja, postojanje servisne mreže i dostupnost rezervnih delova
- prilagođenost sistema za napajanje i podmazivanje radu u specifičnim vanputnim uslovima (strmi nagibi, zaprljana sredina)
- klasa emisije izduvnih gasova, emisija buke i vibracija
- pogodnost za korišćenje alternativnih goriva, u zavisnosti od vrste motora

S obzirom na to da je ovde prikazan postupak dimenzionisanja pogonskog motora izvršen na osnovu transportnih performansi, za slučaj pogona priključnog vratila potrebno je izvršiti dodatnu proveru kapaciteta u skladu sa predviđenim oblastima primene.

Mogućnosti daljeg razvoja pogonskog sistema

Predviđena namena vozila za transport u brdsko planinskim uslovima predstavlja najbolju pretpostavku za mogućnost rekuperacije kinetičke i potencijalne (visinske) energije. Prema dosadašnjim iskustvima [1] i s obzirom na vrstu i namenu vozila, svrsishodno je analizirati hibridni pogon zasnovan na kombinaciji motora SUS sa elektro- odnosno hidrostatičkim pogonom kao tehničke mogućnosti za ugradnju rekuperativnog sistema. Iako u početnoj fazi razvoja poljoprivrednog transporterera nije planiran razvoj i upotreba ovakvih sistema, oni svakako treba da budu predmet budućih analiza. U svetlu aktuelnih nastojanja da se smanji potrošnja goriva i emisija štetnih gasova, rekuperacija energije predstavlja rešenje sa značajnim potencijalom za realizaciju ovih ciljeva. Dodatni troškovi koje prouzrokuje njihova upotreba pod odgovarajućim uslovima mogu biti kompenzovani preko smanjenja utroška goriva i štetnog uticaja na okolinu.

ZAKLJUČAK

U radu su razmotreni kriterijumi za izbor pogonskog motora poljoprivrednog transporterera na osnovu zadatih uslova rada odnosno otpora kretanja u transportnom režimu. Izvršeno je orijentaciono dimenzionisanje motora na osnovu procene otpora kretanja, i zaključeno je da treba težiti izboru motora čija se snaga nalazi unutar ili u

blizini intervala 25-35 kW. Ova snaga omogućava zadovoljavajuće performanse vozila sa aspekta transportnog kapaciteta i bezbednosti saobraćaja, pri čemu maksimalna brzina iz administrativno-tehničkih razloga ne bi trebalo da pređe 45 km h⁻¹. Pored snage, za izbor motora merodavna su i druga svojstva, kao što su potrošnja goriva, emisija, prilagođenost specifičnim uslovima rada, vek trajanja itd. Preporučeno je da se koristi Diesel motor ili Otto motor prilagođen za rad sa alternativnim gorivima.

U daljem postupku sledi analiza pogonskih motora raspoloživih na tržištu i konačan izbor motora koji će biti korišćen, na osnovu svih nabrojanih kriterijuma. Izabran motor, dalje, predstavlja ulazni parametar za izbor koncepta i parametara transmisije. Nakon toga sledi razrada i konačno definisanje koncepta vozila i izbor ostalih mehaničkih sklopova. Po završetku ove faze planira se izrada prototipa, pre svega virtuelnog a potom i realnog.

Za dalje pravce istraživanja pogonskog sistema predlaže se razmatranje pitanja upotrebe hibridnog pogona odnosno sistema za rekuperaciju energije, koji može značajno da doprinese poboljšanju energetske efikasnosti vozila u uslovima transporta na brdskom terenu. Opravdanost istraživanja vezanih za ovakve sisteme zasnovana je, osim na direktnim efektima vezanim za poboljšanje karakteristika vozila, takođe i na osvajanju savremenih tehnoloških rešenja, kao i konkurentnosti vozila na zahtevnijim tržištima.

LITERATURA

- [1] Guzella, L., Sciarretta, A., 2007. *Vehicle Propulsion Systems*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [2] Kising, A., Göhlich, H., 1988. *Ackerschlepper – Reifendynamik*, Teil 1: Fahrbahn und Prüfstandergebnisse, Grundlagen der Landtechnik, 38(1988)3, s. 78-87.
- [3] Ronai, Đ., Muzikravić, V., 1989. *Izveštaj o laboratorijskom ispitivanju pneumatika 12.4-28 proizvođača „Rumaguma“ i „Continental“*, FTN Novi Sad.
- [4] Simić, D., 1977. *Motorna vozila*. Naučna knjiga, Beograd.
- [5] Wallentovitz, H., 1995. *Längsdynamik von Kraftfahrzeugen*. IKA Aachen.
- [6] Wong, J.Y., 2001. *Theory of the Ground Vehicles*, John Wiley & Sons, New York.

ANALYSIS OF REQUIRED CHARACTERISTICS OF AN AGRICULTURAL TRANSPORTER PRIME MOVER

Boris Stojić, Ferenc Časnji, Aleksandar Poznić

University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Mechanization and Design Engineering, Novi Sad

Abstract: Depending on transport conditions, light agricultural transport vehicle can represent more favorable alternative to conventional approach to agricultural transport, i.e. use of tractor with trailer or a lorry. This way it is possible to achieve greater energy efficiency, better soil protection, more efficient transport etc. In this paper development of agricultural transport vehicle is analysed from the point of view of required

characteristics of the prime mover. Powertrain performance characteristics needed in terms of vehicle tractive characteristics are considered, taking into account other relevant parameters as well. Maximum engine power should be close to interval of 25-35 kW. Final choice of engine that will be used has to be made based on technical and economic analysis of existing designs available on the market.

Key words: *agriculture, transport, vehicle, development, prime mover*

Datum prijema rukopisa: 01. 11. 2011.

Datum prijema rukopisa sa ispravkama:

Datum prihvatanja rada: 04. 11. 2011.