

TEČNI PRIRODNI GAS KAO ALTERNATIVNO GORIVO ZA POGON VOZILA LIQUEFIED NATURAL GAS AS AN ALTERNATIVE FUEL FOR MOTOR VEHICLES

Milojević S. *, Jovanović R. **, Pešić R. ***

REZIME

Stabilno snabdevanje tržišta sa prirodnim gasom je osnovni razlog za širu primenu ovog goriva u vozilima. Tome doprinose ekonomske i ekološke prednosti primene ovog goriva u poređenju sa klasičnim pogonom vozila na benzin ili dizel gorivo.

Cilj ovog rada je da se ukaže na značaj prirodnog gasa kao goriva u vozilima. Takođe, ukazuje se i na osnovne razlike između načina skladištenja tečnog prirodnog gasa, kao i uređaja i opreme za snabdevanje motora sa ovim gorivom, u odnosu na slučaj kada se prirodni gas u vozilima skladišti pod visokim pritiskom u gasovitom agregatnom stanju. Na razlike ukazuju i dopune u okviru UNECE Pravilnika br. 110 koje detaljnije uređuje problematika primene prirodnog gasa u vozilima.

Ključne reči: Vozila, UNECE Pravilnik br. 110, tečni prirodni gas

SUMMARY

Stable supply of the market with natural gas is the main reason for the wider application of this fuel in vehicles. This is due to the economic and environmental advantages of using this fuel compared to the classic vehicle drive on gasoline or diesel fuel.

The aim of this paper is to highlight how important natural gas as a fuel in vehicles is. Also, attention is drawn to the fundamental differences between the methods of storage of liquefied natural gas, as well as to differences between the devices and the equipment for supplying the engine with the fuel, in comparison with the case when the natural gas in vehicles is stored under high pressure in the gaseous aggregate state. The differences are indicated by the series of amendments within the UNECE Regulation No. 110, which regulates in more detail the issue of the use of natural gas in vehicles.

* mr Saša Milojević, stručni savetnik. Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, sasa.milojevic@kg.ac.rs

** Radoje Jovanović, načelnik odeljenja za ispitivanje vozila. Agencija za bezbednost saobraćaja, Sektor za vozila, radoje.jovanovic@abs.gov.rs

*** dr Radivoje Pešić, prof. u penziji, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka pesicr@kg.ac.rs

Keywords: Vehicles, UNECE Regulation No. 110, liquefied natural gas

UVOD

Tečni prirodni gas (TPG ili engl. Liquefied Natural Gas–LNG) kao gorivo je alternativa komprimovanom prirodnom gasu (KPG ili engl. Compressed Natural Gas–CNG). Na našem tržištu, prirodni gas je raspoloživ kao gorivo, i to uglavnom u gasovitom stanju pod visokim pritiskom, međutim, sve više se govori i lobira o mogućnostima primene TPG. Sa tržišta USA do EU, TPG se transportuje tankerima u namenskim kriogenim rezervoarima. Sa tim u vezi, pionirska primena ovog goriva u vidu TPG je rezultat prvenstveno marketinške delatnosti i lobiranja snabdevača. Masovnija prodaja TPG iz prvog pogona za likvefakciju je planirana za 2023. godinu [1].

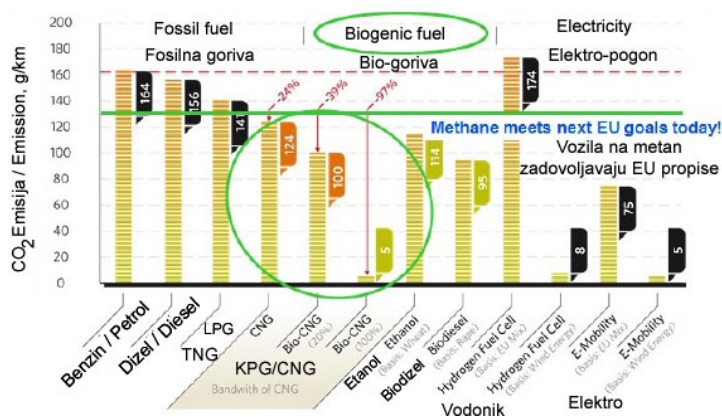
Ako se ima u vidu postojeći gasovod sa planiranim proširenjima, snabdevanje prirodnim gasom je stabilno, pri čemu dodatnu sigurnost predstavlja najava energetskog giganta Novatek o prodaji ruskog gasa sa Arktika za 20. godina unapred. Cena prirodnog gasa je diskutabilna.

U praksi, primena TPG u mobilnim sistemima počinje od kamiona, tzv. dugoprugaša (tegljači sa poluprikolicom) koji krstare dugim putevima, kako u USA tako u EU, počevši od Sredozemlja do Lamanša itd. Opravdana je i primena TPG za pogon tankera, železničkih vozova, traktora itd. Cilj je da se ostvari što veći radijus kretanja mobilnih sistema sa jednim punjenjem goriva, približno kao u slučaju primene dizel ili hibridnog pogona. Kod primene u vozilima sa manjim brojem pređenih kilometara u toku rada, pogon na KPG je prihvatljiv. Treba naglasiti činjenicu da je broj pumpnih stanica za KPG u ekspanziji, što opravdava primenu ovog goriva.

Prema istraživanjima, broj kamiona tegljača, odnosno teretnih vozila klase N3 će u EU biti povećan sa sadašnjih 307.000 na 2,76 miliona do 2040. godine, ako se nastavi sa dosadašnjim trendom njihove registracije. Procenjuje se da će vozila sa pogonom na TPG zauzimati 17% ili 480.000. Njihova primena u saobraćaju menja do 11,5 milijardi litara dizel goriva [1].

Primenom pogonskih sistema sa motorima na prirodni gas mogu da se zadovolje postavljene granice emisije iz vozila, slika 1. Granične vrednosti emisije otrovnih i štetnih produkata sagorevanja za novo proizvedena vozila u EU su sadržane u propisima Euro 6 za putnička i laka teretna vozila počevši od IX 2014. godine, i Euro VI za teška teretna vozila i autobuse, počevši od I 2013. godine. Cilj je da se smanji broj vozila u saobraćaju sa benzinskim i dizel motorima [2, 3].

Ekološka problematika je prisutna i u traktorima. Emisioni standard Stage V se mora



Sl. 1 Vozila na prirodni gas zadovoljavaju EU propise
Fig. 1 Methane (natural gas) vehicles meet the EU goals

zadovoljiti u traktorima počevši od 2019. godine, odnosno od 2020. godine, zavisno od snage motora, primenom novih tehničkih rešenja, kao i pogona na alternativna goriva.

KONCEPCIJA VOZILA SA POGONOM NA TEČNI PRIRODNI GAS

Prirodni gas se u mobilnim sistemima skladišti u gasovitom stanju pod visokim pritiskom tj. kao KPG, ili utečnjen, kao TPG. U Republici Srbiji, serijska proizvodnja autobusa sa pogonom na KPG je prvi put pokrenuta u kragujevačkoj firmi MAZ SR, i tim projektom je rukovodio autor ovog teksta. Dokaz uspešne realizacije projekta je činjenica da su autobusi sa pogonom na KPG nosioci gradskog prevoza u Kragujevcu, Beogradu, Nišu i drugim većim gradovima. Sa druge strane, broj autobusa i uopšte vozila sa pogonom na TPG je zanemarljiv. Glavni razlog je nedostatak odgovarajuće infrastrukture.

Primenom TPG za pogon međugradskih (visokopodnih) autobusa, zbog mogućnosti ugradnje rezervoara u podu, položaj težišta po visini je optimalniji, što doprinosi stabilnosti vozila, slika 2.a. Slično je i kod primene za pogon kamiona, gde se rezervoari za TPG ugrađuju u visini šasije vozila, slika 2.b. Treba napomenuti, da je primena KPG rasprostranjena kod gradskih niskopodnih autobusa, kod kojih su rezervoari smešteni na krovu. U prethodnom periodu, od strane autora je predložen projekat razvoja domaćeg kamiona sa pogonom na KPG, za potrebe komunalnih službi. Vozilo je projektovano na baznoj kamionskoj šasiji domaćeg proizvođača, dok su motor, menjač, rezervoari i delovi sistema za dovod gasa poreklom iz uvoza. Kod ovih kamiona, zavisno od zapremine, rezervoari za KPG se skladište unutar šasije, iza kabine ili na nadgradnji, posredstvom sertifikovanih nosača.



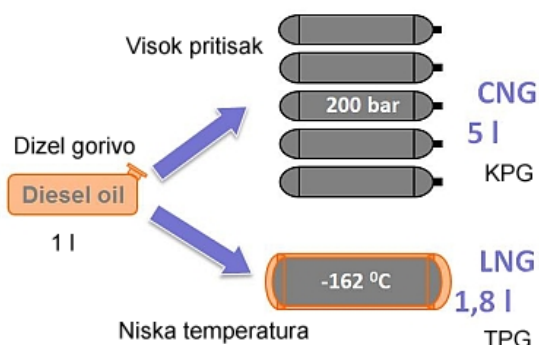
Sl. 2 Ugradnja rezervoara za TPG (a) na međugradskom autobusu i (b) na šasiji tegljača
Fig. 2 Installation of LPG tank (a) on an intercity bus and (b) on a tractor chassis

Konstruktori vozila sa pogonom na prirodni gas, pored ostalog imaju zadatak da integrišu protivpožarni sistem, kao i da projektuju vozilo približne autonomije kretanja sa jednim punjenjem rezervoara, u odnosu na pogon sa dizel gorivom [4]. Na slici 3 je ilustrovano poređenje ekvivalentne zapremine KPG i LNG koja odgovara energetske vrednosti jednog litra dizel goriva.

Jednom litru dizel goriva, energetski je ekvivalentna zapremina od pet litara KPG na pritisku od 20 MPa, i 1,8 litara TPG u tečnom stanju pri temperaturi od (-162°C), slika 3. Zbog veće koncentracije energije po jedinici zapremine, TPG se koristi za pogon vozila koja saobraćaju na dužim relacijama [2, 3].

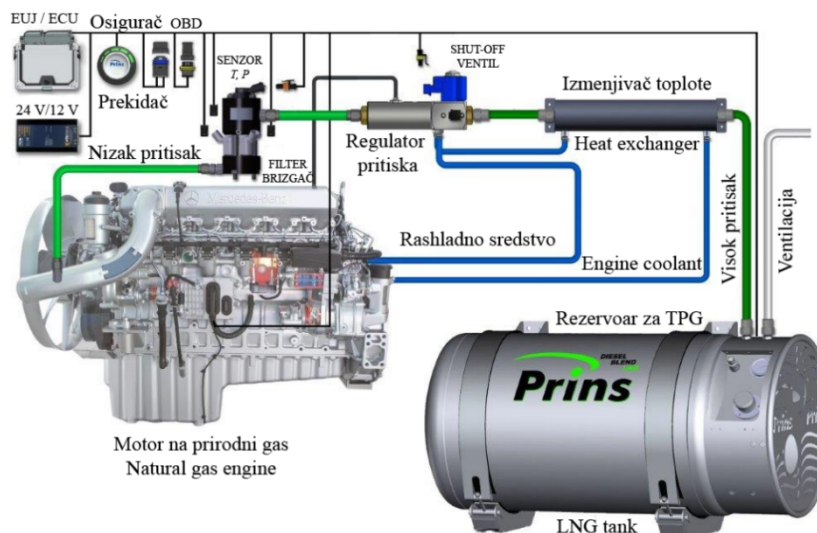
Pogonski sistem vozila sa pogonom na prirodni gas je najbolje opremiti originalnim motorom čiji se radni proces odvija po oto ciklusu sa stehiometrijskom ili siromašnom smešom, upaljenje svećicom (engl. dedicated). Postoje i dvogorivi motori, npr. prirodni gas/dizel, kod kojih se dizel gorivo koristi za upaljenje smeše prirodnog gasa i vazduha (engl. dual fuel).

Na slici 4 je prikazana šema instalacije za dovod TPG od rezervoara do motora. TPG se skladišti u kriogenim rezervoarima na temperaturu od (-162°C) i pritisku okoline. Posredstvom izmenjivača toplote, odnosno isparivača, TPG prelazi u gasovito agregatno stanje kada mu raste pritisak i do motora se doprema kao KPG. Isti tip motora sa pogonom na gas se primenjuje kod obe koncepcije vozila.



Sl. 3 Ekvivalentna zapreminska količina KPG i TPG u odnosu na liter dizel goriva

Fig. 3 Diesel vs. CNG and LNG energy and volume equivalence



Sl. 4 Osnovne komponente sistema za dovod TPG od rezervoara do motora

Fig. 4 Main components of LNG systems from the tank to the engine

PROPISI KOJI REGULIŠU UGRADNJU UREĐAJA I OPREME ZA TPG

Pravilnik broj 110 Ekonomske komisije Ujedinjenih nacija za Evropu (UNECE) definiše odredbe o homologaciji [5, 6]:

- ♦ uređaja i opreme motornih vozila koja upotrebljavaju KPG i/ili TPG u svom pogonskom sistemu;

- ♦ vozila u pogledu ugradnje uređaja i opreme homologovanog tipa za upotrebu KPG i/ili TPG u njihovom pogonskom sistemu.

Pri tome, sastavni delovi „pogonskog sistema na TPG” su: rezervoari, ventili, savitljivi vodovi za gorivo itd. i spojni delovi (vodovi za gorivo, spojni elementi itd.), uključujući i isparivač, odnosno izmenjivač toplote, slika 4. Oprema posle izmenjivača je sastavni deo sistema za KPG.

Za vozila u Republici Srbiji se primenjuju sledeća zakonska i podzakonska akta:

- ♦ Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima;
- ♦ Pravilnik o podeli motornih i priključnih vozila i tehničkim uslovima za vozila u saobraćaju na putevima; i
- ♦ Pravilnik o ispitivanju vozila.

Svaki rezervoar za TPG mora imati i pločicu za označivanje na kojoj se nalaze sledeći jasno čitljivi i neizbrisivi podaci [6]:

- a) serijski broj rezervoara;
- b) zapremina rezervoara u litrima [l];
- c) oznaka TPG (LNG);
- d) dovodni pritisak / radni pritisak [MPa];
- e) masa [kg];
- f) naziv proizvođača;
- g) godina i mesec homologacije (npr. 99/01);
- h) oznaka „SADRŽI PUMPU, izlazni pritisak pumpe*** MPa” ako je TPG pumpa za gorivo ugrađena na rezervoar; pri čemu je *** vrednost izlaznog pritiska pumpe; i
- i) oznaka homologacije.

Rezervoari moraju biti pričvršćeni za osnovnu konstrukciju vozila prema uputstvima proizvođača, odnosno tehničkim zahtevima i ne smeju imati direktan kontakt sa drugim metalnim delovima, osim na mestima pričvršćenja za metalnu konstrukciju vozila posredstvom namenskih nosača. Kada je vozilo spremno za vožnju, rezervoar se mora nalaziti najmanje 200 mm iznad površine puta. Treba osigurati da rezervoari ne dodiruju podlogu pri ispuštanju pneumatika ili pri promeni visine vozila.

Pravilnikom UNECE broj 110 se propisuje da rezervoari za KPG/TPG moraju biti adekvatno ugrađeni i pričvršćeni tako da mogu (kada su puni) da apsorbuju odgovarajuća ubrzanja bez nastanka oštećenja. Ubrzanja su propisana, prema tabeli 1. Pri tome se zahteva odgovarajuća otpornost (odsustvo bilo kakvih deformacija), kako nosača rezervoara, tako i konstrukcije dela vozila za koji su rezervoari učvršćeni, što se može dokazati i proračunom (npr. metodom konačnih elemenata) [5, 6].

Tab. 1. Propisana ubrzanja prema UNECE 110R

Tab. 1. (Prescribed accelerations according to UNECE 110R)

Kategorija vozila	M1 i N1	M2 i N2	M3 i N3
Ubrzanje u smeru kretanja vozila	20-g	10-g	6,6-g
Ubrzanje u horizontalnoj ravni, normalno na pravac kretanja vozila	8-g	5-g	

Homologacijska oznaka tipa delova opreme ima sledeći izgled:

E3 110R-012439 "L" (ili "M" ili "C"). Homologacijska oznaka pokazuje da je navedeni deo opreme homologovan u Italiji (E3), u skladu sa Pravilnikom br. 110 pod homologacijskim

brojem 012439, koji je izmenjen serijom amandmana 01. Slovo "L" označava da je proizvod kompatibilan sa TPG, dok slova "M" i "C", označavaju da je proizvod namenjen za primenu pri nižim i umerenim temperaturama [6].

Dodatnu opremu rezervoara za TPG čine: automatski ventil, ventil za ograničavanje protoka, ventil za rasterećenje (primarni i sekundarni), ručni ventil za gorivo (na automatskom ventilu), ručni ventil za paru i vod za odzračivanje ili priključak. Automatski ventil se ugrađuje na svakom rezervoaru na vodu za dovod goriva. Automatski ventil deluje tako da se dovod goriva posle prekida rada motora zatvara, bez obzira na položaj prekidača za start i ostaje zatvoren sve dok motor ne radi. Izlazni otvor ventila za rasterećenje mora biti zaštićen od začepjenja usled pojave nečistoće, prašine, snega i leda i/ili vode. Gas koji izlazi iz odzračnog voda ili sekundarnog ventila za rasterećenje ne sme biti usmeren prema putničkom prostoru, kanalima sistema za klimatizaciju, kao ni prema usisnom ili izduvnom sistemu motora sus. Cevi za dovod TPG se izrađuju od nerđajućeg čelika ili bakra [6].

Pravilnikom UNECE broj 110 je definisano da proizvođač rezervoara za TPG propisuje način provere usaglašenosti rezervoara sa odobrenim tipom. Provera se vrši vizuelnim pregledom ili ispitivanjem pod pritiskom, zavisno od uslova primene. Rezervoari se moraju vizuelno pregledati najmanje svakih 120 meseci posle prve ugradnje u vozilo (registracije vozila) i pri svakoj ponovnoj ugradnji. Proverava se prisustvo mehaničkih, abrazivnih ili hemijskih oštećenja, posebno na delu nosača rezervoara. Vizuelni pregled vrši tehnička služba. Kontrolu od strane ovlašćene organizacije, kada se izdaje Sertifikat (Uverenje i/ili Potvrda o ispravnosti ugradnje uređaja i opreme za TPG) obavlja stručno lice sa ovlašćenjem odgovarajuće institucije. Kontrola se obavlja na svakih 48 meseci i mora biti u skladu sa nacionalnim propisima. Nalepnice rezervoara moraju biti čitljive; ako to nisu, rezervoar se mora povući iz upotrebe, osim u slučaju kada je moguće identifikovati isti i kada se može izraditi duplikat nalepnice. Rezervoari kolji su bili u vozilu pri sudaru, moraju se ponovo ispitati pre ponovne ugradnje i ne smeju imati nikakva oštećenja. Ponovna ugradnja rezervoara koji su bili u vozilu prilikom požara se mora razmotriti od strane službi ovlašćenih od proizvođača. Vozila na TPG se takođe obeležavaju odgovarajućim nalepnicama (prednja i zadnja desna strana, mesto priključka za punjenje) [6].

ZAKLJUČCI

Tečni prirodni gas (TPG ili engl. Liquefied Natural Gas–LNG) kao gorivo je alternativa komprimovanom prirodnom gasu (KPG ili engl. Compressed Natural Gas–CNG). U praksi, primena TPG u mobilnim sistemima počinje od kamiona (tegljači sa poluprikolicom) koji krstare dugim putevima u USA ili EU, počevši od Sredozemlja do Lamanša itd. Opravdana je i primena TPG za pogon tankera, železničkih vozova, traktora itd. Cilj je da se ostvari što veći radijus kretanja ovih vozila sa jednim punjenjem goriva, odnosno slično kao u slučaju primene dizel ili hibridnog pogona.

Pogonski sistem vozila sa pogonom na prirodni gas je najbolje opremiti originalnim motorom čiji se radni proces odvija po oto ciklusu sa stehiometrijskom ili siromašnom smešom, upaljenje svećicom (engl. dedicated). Postoje i dvogorivi motori, npr. prirodni gas/dizel, kod kojih se dizel gorivo koristi za upaljenje smeše prirodnog gasa i vazduha (engl. dual fuel).

Pravilnik broj 110 Ekonomske komisije Ujedinjenih nacija za Evropu (UNECE) definiše odredbe o homologaciji:

- ♦ uređaja i opreme motornih vozila koja upotrebljavaju KPG i/ili TPG u svom pogonskom sistemu;

- ◆ vozila u pogledu ugradnje uređaja i opreme homologovanog tipa za upotrebu KPG i/ili TPG u njihovom pogonskom sistemu.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je rezultat istraživanja na projektu Tr 35041 koji je finansiran od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije

LITERATURA

- [1.] Jurković, M., Kalina, T., Skrúčaný, T., Gorzelanczyk, P., & Lupták, V. (2020). Environmental Impacts of Introducing LNG as Alternative Fuel for Urban Buses – Case Study in Slovakia. *Promet - Traffic&Transportation*, 32(6), 837-847. <https://doi.org/10.7307/ptt.v32i6.3564>
- [2.] Milojevic, S., Skrucany, T., Milošević, H., Stanojevic, D., Pantic, M., & Stojanovic, B. (2018). Alternative drive systems and environmentally friendly public passengers transport. *Appl. Eng. Lett. J. Eng. Appl. Sci*, 3, 105-113. <https://doi.org/10.18485/aeletters.2018.3.3.4>
- [3.] Hoen, K.M.R., Tan, T., Fransoo, J.C. et al. Effect of carbon emission regulations on transport mode selection under stochastic demand. *Flex Serv Manuf J* 26, 170–195 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10696-012-9151-6>
- [4.] Milojević, S., Pešić, R., & Taranović, D. FIRE SAFETY OF CNG BUSES–PROPER EXPERIENCES. *Mobility & Vehicle Mechanics (MVM)*, vol. 43, no. 4. pp. 23-37 (2017). 10.24874/mvm.2017.43.04.03
- [5.] Milojevic, S., Pesic, R. Theoretical and experimental analysis of a CNG cylinder rack connection to a bus roof. *Int.J Automot. Technol.* 13, 497–503 (2012). <https://doi.org/10.1007/s12239-012-0047-y>
- [6.] United Nations, 2014, Uniform provisions concerning the approval of:
- [7.] I. Specific components of motor vehicles using compressed natural gas (CNG) and/or liquefied natural gas (LNG) in their propulsion system;
- [8.] II. Vehicles with regard to the installation of specific components of an approved type for the use of compressed natural gas (CNG) and/or liquefied natural gas (LNG) in their propulsion system. UNECE Addendum 109: Regulation No. 110, New York.

Rad primljen: 03.11.2021.

Rad prihvaćen: 17.11.2021.



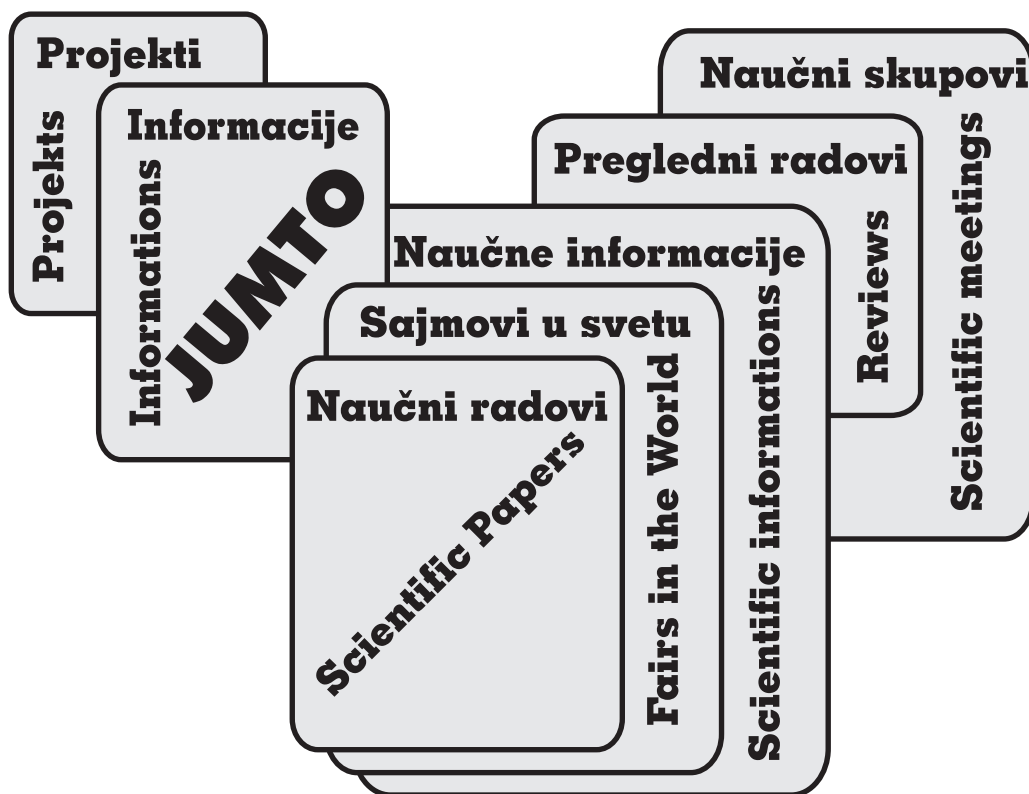
TRAKTORI I POGONSKE MAŠINE

3/4

UDK 631.372
ISSN 0354-9496
Godina 26
Dec. 2021.

TRACTORS AND POWER MACHINES

SADRŽAJ - CONTENTS



Novi Sad, Srbija