

UDK:631.558.1:631.561

Pregledni rad

HIDROSTATIČKI SISTEMI PRENOSA SNAGE POLJOPRIVREDNIH MAŠINA: ZAPREMINSKE PUMPE

Vera B. Cerović¹, Dragan V. Petrović^{1*}

¹Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 27, 11000 Beograd

²Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, nemanjina 6, 11081 Beograd-Zemun

Sažetak: U radu je prikazan i analiziran hidrostatički prenos snage i upravljanja. Navedeni su najvažniji elementi ove grupe sistema i mogućnosti njihove primene u poljoprivrednoj tehnici. Posebno pažnja je posvećena zapreminskim pumpama koje nalaze najširu primenu u poljoprivrednoj mehanizaciji: zupčastim pumpama sa spoljašnjim i unutrašnjim ozubljenjem, krilnim pumpama, klipno-aksijalnim pumpama sa nagnutom kliznom pločom i klipno-aksijalnim pumpama sa nagnutim cilindarskim blokom. Prikazana su dva hidrostatička sistema prenosa snage i upravljanja. Prvi predstavlja veoma jednostavan mehaničko-hidraulički sistem automatske nivelacije samohodnog berača jagodastog voća. Drugi predstavljeni hidrostatički sistem spada u najsavremenije sisteme koji se koriste u poljoprivrednoj mehanizaciji. Izveden je kao veoma složena kombinacija hidrostatičkog i mehaničkog prenosnika snage sa pratećim upravljačkim digitalnim elektronskim sistemom, a namenjen je pogonu žitnog kombajna.

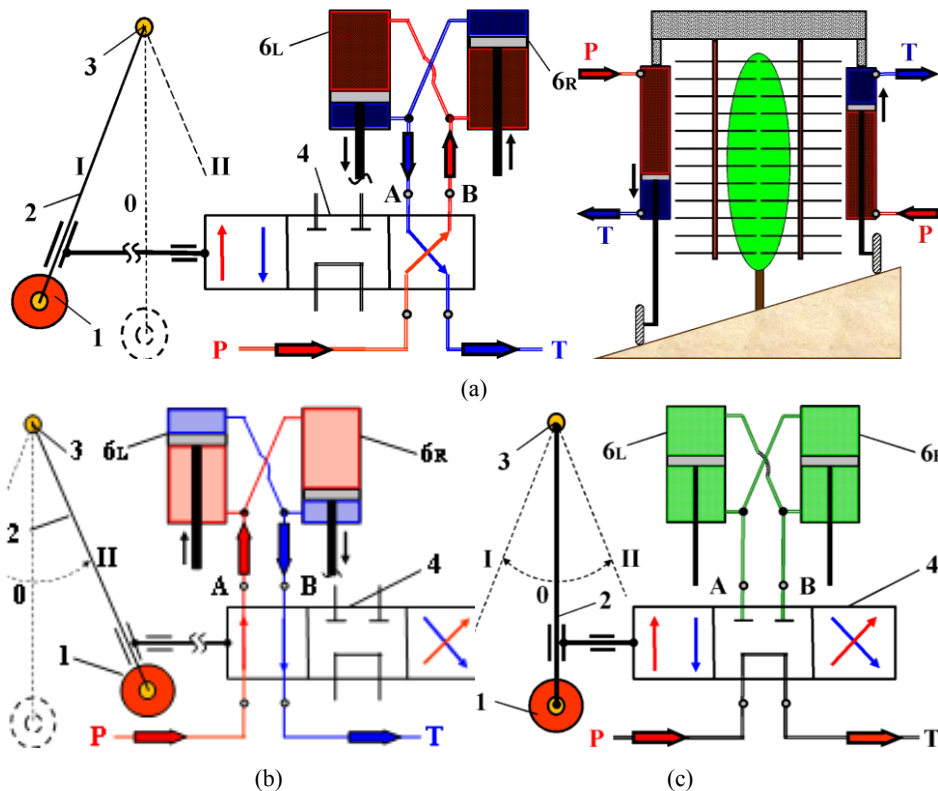
Ključne reči: hidraulika, prenosnik, poljoprivreda, mehanizacija, pritisak, protok

UVOD

^{1*}Kontakt autor E-mail adresa: epetrodr@agrif.bg.ac.rs

Rad je nastao u okviru projekta: „Unapređenje biotehnoških postupaka u funkciji racionalnog korišćenja energije, povećanja produktivnosti i kvaliteta poljoprivrednih proizvoda“, broj TR 31051, Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja R. Srbije.

Mehanički prenosnici često omogućavaju najjednostavniji prenos energije između pogonskih i radnih mašina. Uporedo sa njima, sve složeniji zahtevi pri prenosu energije (promenljivost brzine kretanja, obrtnog momenta, učestanosti obrtanja, periodično prekidno kretanje itd. u širokom opsegu) inicirali su široku primenu hidrauličkih prenosnika snage i kretanja u svim oblastima tehnike, uključujući i poljoprivrednu. Hidraulički i mehanički sistemi su uglavnom spregnuti, uz podršku elektronskih sistema [5], [6]. Tako je nastala nova naučna oblast – mehatronika [20]. Ipak, mehaničko upravljanje hidrauličkim sistemom i dalje je prisutno, kao npr. za automatsku nivelaciju samohodnog berača maline i kupine [21] prikazanog na slici 1. Klatno (1), povezano sa hidrauličkim razvodnikom sa mehaničkim upravljanjem (2) preko poluge, nastoji da zauzme vertikalni položaj. Time se hidraulički razvodnik (4) automatski postavlja u optimalni položaj i izravna kombajn suprotnosmernim aktiviranjem cilindara (6L,R).



Slika 1. Sistem nivelacije: (a) podizanje desnog i spuštanje levog točka pri radu na nagibu (b) obrnut proces poravnavanja i (c) neutralno stanje na vodoravnom terenu, [21].

Figure 1. The leveling system: (a) right wheel lifting and left wheel lowering at sloped terrain, (b) vice versa process and (c) neutral position at horizontal terrain, [21].

Pri formiranju hidrauličkog sistema za predviđene uslove rada i namene, potrebno je izabrati pogodan radni fluid istandardne hidrauličke komponente, povezati ih i funkcionalno uskladiti. Stabilan rad sistema u dinamičkim uslovima nije zagarantovan i može

zahtevati primenu matematičkog modeliranja ponašanja sistema [16].U poljoprivrednoj tehnici su ovi problemi retki, ali se matematičko modeliranje ipak koristi.

Ispravan rad hidrauličkog sistema zahteva obezbeđivanje potrebne količine prečišćene radne tečnosti, pumpe sa pokretačkim elementom (SUS ili elektromotor) i po potrebi mehaničkog prenosnika snage između njih, upravljačkihi sigurnosnihventila, izvršnih elemenata,rezervoara radne tečnosti,cevi koje ih povezuju itd. Ispravni, usklađeni, pravilno odabrani i povezani elementi moraju izvršavati svoj pojedinačni zadatak, ali i obezbediti ispravno funkcionisanje hidrauličkog sistema kao celine [8].

Vremenom, usled habanja i starenja,mogu nastupiti problemi počevši od curenja radne tečnosti pa do otkazivanja elemenata hidrauličkog sistema. Uspešna dijagnostika i otklanjanje kvarova, kao i redovno održavanje i opzimizacija hidrauličkog sistema, zahtevaju poznavanje funkcionalnih principa svih elemenata i celokupnog sistema.To je neophodan uslov za za postizanja visoke efikasnosti, pouzdanosti i dugotrajnosti [3], [15], [22].Posebna pažnja se u poslednje vreme posvećuje razvoju i primeni ekološki podobnih hidrauličnih radnih tečnosti [10], [13], [14], [23], kao i njihovoj reciklaži [25].

Prema načinu prenosa snage (energije), razlikuju se dva osnovna tipa hidrauličkih sistema.Hidrodinamički sistemi prenose energiju u najvećoj meri posredstvom kinetičke energije (brzine strujanja) radne tečnosti. Nasuprot njima, hidrostatički sistemi koriste pritisak (potencijalnu energiju) radne tečnosti, dok je učešće kinetičke energije vrlo malo (često ispod 1%)[4]. U fokusu rada su hidrostatički sistemi prenosa snageu poljoprivrednoj mehaniziciji: kod traktora [7], [13], [17], [20], kombajna [1], [2], [8], [19], [21], priključnih mašina u voćarskoj[16], [18], [29], [30], [31], ratarskoj [1], [10], [26], [27], [28], [32] i stočarskoj proizvodnji [24], kao i kod pomoćnih uređaja [12].

U radu su prikazani najvažniji tipovi zapreminskih pumpi i njihove osobine i namena.Dati su i neki ilustrativni primeri njihove primene u poljoprivrednim mašinama.

MATERIJAL I METODE RADA

Radni fluidi hidrauličkih sistema su hidraulička ulja, kao medijumi za prenos snage (energije) sa jednog mesta na drugo. U granicama stepena korisnosti dizel motora, energija goriva se pretvara u mehaničku i preko vratila predaje pumpi kao pogonskom elementu hidrauličkog sistema.

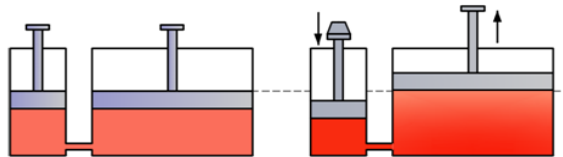
Dva su osnovna procesa u radu pumpe: usisavanje i potiskivanje tečnosti. U fazi usisavanja radni elementi pumpe stvaraju podpritisak u njenim komorama u odnosu na rezervoar ulja, pa ulje ulazi u te radne komore. U fazi potiskivanja radni elementi potiskuju tečnost ka izlazu saopštavajući pumpi potreban pritisak i brzinu (energiju). U zavisnosti od karakteristika kretanja radnih elemenata, zapreminske pumpe se dele u dve osnovne grupe: obrtne (zupčaste, krilne i zavojne) i translatorne (klipne i membranske).

Pumpa u svom radnom prostoru prenosi energiju na radni fluid. Kod hidrostatičkih sistema koriste se zapreminske pumpe, a energija jedinice mase radne tečnosti se povećava skoro isključivo povećanjem njenog statičkog pritiska. U odnosu na mehaničke prenosnike, hidrauličko ulje ima prednost pokretljivosti i prenošenja potencijalne (pritisne) energije ravnomerno kroz fluid u svim pravcima.

Prenos energije je nesavršen proces praćen gubicima energije.Deo energije se usled viskoznosti hidrauličkog ulja pri njegovom strujanju u random kolu i kućištu pumpe pretvara u toplotu.

Ovaj fenomen, označen kao disipacija, zajedno sa mehaničkim trenjem u ležajevima pumpe itd., prouzrokuje zagrevanje pumpe i radne tečnosti u toku rada pumpe, smanjujući energiju prenetu radnoj mašini za vršenje korisnog rada.

Efekti viskoznosti radne tečnosti se ispoljavaju i pri strujanju ulja kroz cevovode, crevovode, ventile, kolena, račve, difuzore, konfuzore i druge elemente hidrauličkih sistema.



Slika. 1.1. Osnovni princip rada hidrostatičkog prenosnika - pojačavanje radne sile

Figure 1.1. Basic operating principle of hydrostatic transmitter – force amplification.

Mada se često kombinuju sa elektronskim sistemima upravljanja, hidraulički sistemi imaju niz prednosti u poređenju sa mehaničkim i električnim prenosnicima snage:

- ▶ Fleksibilnost – zahvaljujući savitljivim elastičnim crevima, snaga se može prenositi skoro na svaku lokaciju, pa čak i menjati radnu lokaciju u toku rada.
- ▶ Kompaktnost i mala masa - prenose više snage od drugih sistema iste veličine.
- ▶ Jednostavnost i malo habanje - hidraulički sistemi poseduju manje pokretnih elemenata od ostalih sistema, manji broj nosivih tačaka i samopodmazivi su.
- ▶ Pouzdanost. Zasniva se na manjem broju pokretnih elemenata, električnih kontakata lakšoj zaštiti od preopterećenja, u poređenju sa ostalim sistemima.
- ▶ Kontinualna i bezudarna promena brzine, broja obrtaja i radne sile ili obrtnog momenta u širokom opsegu.
- ▶ Jednostavna promena smera kretanja (ili obrtanja).
- ▶ Lako transformisanje obrtnog u translatorno kretanje i obrnuto.
- ▶ Pojačanje sile u širokom opsegu - dejstvom sile na manji klip može se dobiti veća sila na klipu većeg prečnika, srazmerno odnosu površina klipova (slika 1.1.).

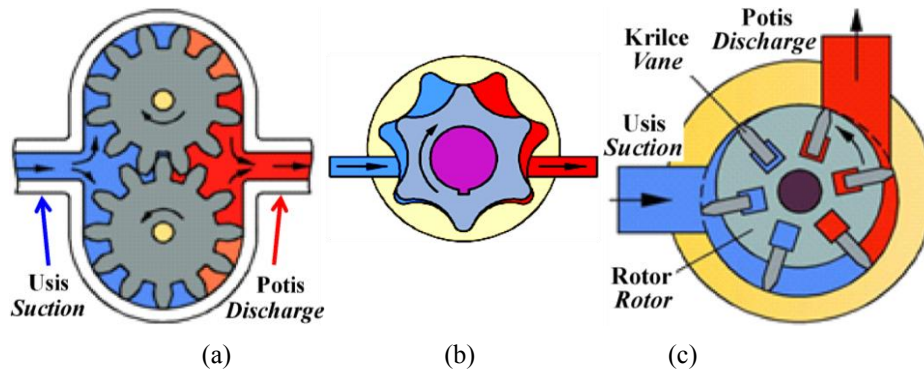
Ipak, nedostaci hidrauličkih sistema, mada retko, mogu ograničiti njihovu upotrebu:

- ▶ Efikasnost – je niža od mehaničkih sistema prenosa snage.
- ▶ Visoki zahtevi u pogledu čistoće i održavanja u poređenju sa drugim sistemima. Korozija, vlaga, nečistoće, toplota i starenje radne tečnosti mogu oštetiti hidraulički system, smanjiti ili potpuno sprečiti protok ulja u sistemu.
- ▶ Zavisnost sistema od spoljne temperature i temperature fluida.
- ▶ Opasnost od curenja radne tečnosti usled visokih radnih pritisaka.

OSNOVNI TIPOVI PUMPI

Određivanje mogućeg mesta ugradnje i izbor elemenata hidrostatičkog hidrauličkog sistema zahteva dobro poznavanje funkcionisanja odgovarajuće poljoprivredne mašine. Sistem se formira od raznih komercijalno raspoloživih elemenata. Glavni element svakog hidrostatičkog sistema je zapreminska pumpa. Danas postoji različite konstrukcije hidrauličkih pumpi. Ipak, u hidrostatičkim sistema prenosa snage kod kojih je samo minimalno curenje (povratno strujanje) radne tečnosti dopustivo, primenjuju se isključivo zapreminske pumpe (engl. *positive displacement pumps*).

Termin “zapreminska” označava svojstvo ovih pumpi da pri svakom punom obrtaju pogonskog vratila pumpa potisne istu zapreminu tečnosti (idealna zapremina) u hidraulički sistem. Treba napomenuti da stvarna zapremina potisnute tečnosti zavisi od zapreminske efikasnosti pumpe pri datom pritisku radne tečnosti. Zato protok tečnosti kod ovih pumpi zavisi od broja obrtaja u minuti pogonskog vratila.



Slika 2. Zapreminske pumpe: (a)-zupčasta pumpa sa spoljašnjim ozubljenjem (b)-zupčasta sa unutrašnjim ozubljenjem (rotor) pumpa; (c)-krilna pumpa.

Figure 2. The volumetric pumps: (a)-external gear pump; (b)-internal gear pump; (c)-vane pump.

Hidrostaticki sistemi poljoprivrednih mašina uključuju jednu ili više pumpi. Primena jedne zupčaste pumpe sa spoljašnjim ozubljenjem za pogon svih uređaja je uobičajeni izbor (slika 2a), ali se koriste i drugi tipovi zapreminskih pumpi: zupčaste hidrauličke pumpe sa unutrašnjim ozubljenjem (slika 2b) i krilne pumpe (slika 2c). Konstrukcija rotacionih pumpi i motora je u osnovi jednaka, ili veoma slična, pa se često ista mašina može prema potrebi upotrebljavati kao hidraulička pumpa ili motor.

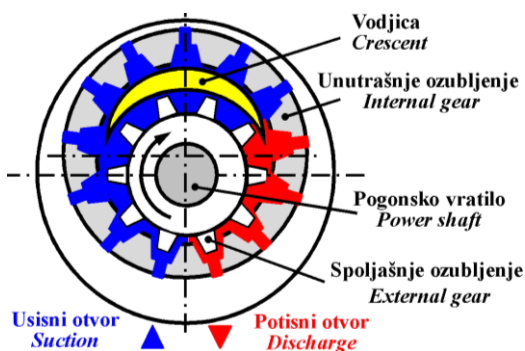
Zupčasta ili krilna pumpa se najčešće koriste zbog svoje jednostavnosti i cene. One zadovoljavaju tražene snage i protoke sa gledišta potreba poljoprivredne mehanizacije. Isporučuju stalnu zapreminu ulja po svakoj rotaciji vratila, tako da ukupni protok ulja zavisi isključivo od učestanosti obrtanja vratila pumpe. Izuzetak od ovog pravila je krilna pumpa čiji se rotor može zakretati.

Radni elementi zupčaste pumpe su zupci zupčanika, a njene radne komore su prostori međuzublja. Generalno, se razlikuju dve osnovne grupe ovih pumpi: sa spoljašnjim ozubljenjem (oba zupčanika) i unutrašnjim ozubljenjem (jedan zupčanik, a drugi i dalje ima spoljašnje ozubljenje). U okviru pumpi sa unutrašnjim ozubljenjem razlikuju se zupčaste pumpe sa srpom (slika 3) i rotor pumpe (slika 2b).

Zupčaste pumpe sa spoljašnjim ozubljenjem rade u opsegu temperature -20°C do 80°C . Male su zapremine i mase po jedinici predate snage, jeftine i jednostavne za održavanje i nisu osetljive na prisustvo sitnih nečistoća u ulju. Namenjene su ostvarivanju niskih i srednjih pritisaka (do 200/250 bar) i relativno velikih protoka (od 1 do 160 l/min), a rade pri učestanosti obrtanja od 1000 do 2000 min^{-1} . Ostvaruju zapreminski stepen korisnosti ukupni je $\eta_v = 0,9 - 0,95$, a ukupni je $\eta = 0,8 - 0,85$. Po pravilu su ireverzibilne, odnosno mogu da rade samo u predviđenom smeru obrtanja. Bučne su (nivo buke prelazi 70 dB) pri visokim pritiscima i učestanostima obrtanja.

Pumpe sa unutrašnjim ozubljenjem (slika 2b i slika 3) rade na isti način kao i zupčaste pumpe sa spoljašnjim ozubljenjem (slika 2a). Njihov smer potiskivanja, protok i radni pritisak ne mogu se u toku rada podešavati (pumpe stalnog protoka).

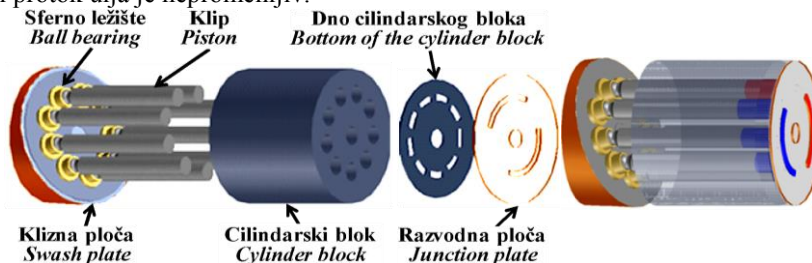
Iz osnovne konstrukcije zupčaste pumpe sa unutrašnjim ozubljenjem i vodjicom, prikazane na slici 3, razvila se zupčasta "Gerotor" pumpe. Kinematika oba tipa pumpi sa unutrašnjim ozubljenjem je slična, ali kod "Gerotor" pumpe zupčanik sa spoljašnjim ozubljenjem ima jedan zub manje od zupčanika sa unutrašnjim ozubljenjem. Ova geometrija osigurava potpuno odvajanje usisne zone niskog pritiska od potisne zone visokog pritiska i otklanja potrebu za primenom vodjice. Kompaktne su konstrukcije, mirno i tiho rade, ali su nešto skuplje od zupčaste pumpe sa spoljašnjim ozubljenjem.



Slika 3. Zupčasta sa unutrašnjim ozubljenjem i vodjicom (srpom).

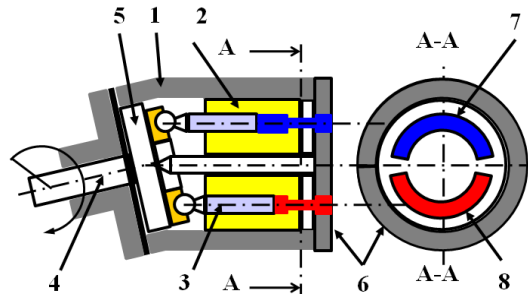
Figure 3. Internal gear pump with crescent.

Krilne pumpe imaju najčešće 10 do 12 krilaca, a radna komora je prostor između njih i statora pumpe. Rotor je ekscentrično postavljen u statoru. Krilca se pod dejstvom opruge i/ili centrifugalne sile izvlače i uvlače, naležući na unutrašnju površ statora. Time se ostvaruje zaptivanje, promena zapremina komora, potiskivanje i povećanje pritiska ulja na potisu pumpe. Rade na niskim i srednjim pritiscima i omogućavaju veliki, ali stalni protok ulja. Male su mase i zapremine po jedinici snage. Mirno i tiho rade. Osetljive su na skokove pritiska, koji mogu polomiti krilca. Ostvaruju zapreminski stepen korisnosti $\eta_V = 0,9 - 0,95$, a ukupni je $\eta = 0,8 - 0,85$. Često se ugrađuju u motorna vozila. Postoje konstrukcije varijabilnog protoka ulja, sa zakretnim rotorom. Da bi se povećao protok, razvijene su krilne pumpe sa višekomornim kućištem - u svakoj komori se odvija po jedan proces usisavanja i potiskivanja radne tečnosti. Kod ovih pumpi protok ulja je nepromenljiv.



Slika 4. Klipno-aksijalna pumpe sa nagnutom kliznom pločom.

Figure 4. Axial piston pump, swash-plate principle.

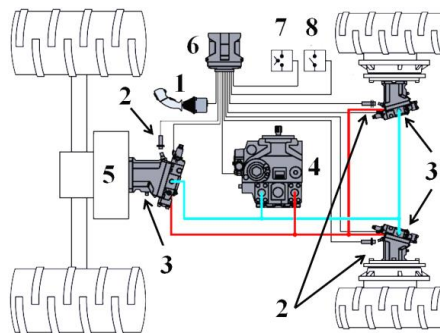


Slika 5. Klipno-aksijalna pumpa sa nagnutim cilindarskim blokom: 1 - telo; 2 - cilindarski blok; 3 - klip; 4 - pogonsko vratilo; 5 - disk; 6 - razvodna ploča; 6 – usisni kanal; 7 – potisni kanal.

Figure 5. Axial piston pump with bent axis of the cylinders block: 1 - housing; 2 – cylinders block; 3 - piston; 4 – power shaft; 5 – disc; 6 – junction plate ploča; 6 – suction; 7 – discharge.

Postoje razni tipovi klipnih pumpi, u poljoprivrednoj mehanizaciji najviše se koriste dva tipa klipno-aksijalnih: sa pokretnom kosom kliznom pločom (slika 4) i nagnutim cilindarskim blokom (slika 5). Pumpe prve grupe su složenije konstrukcije i skuplje, ali omogućavaju kontinualnu promenu protoka radne tečnosti od nulte do maksimalne vrednosti, bez promene učestanosti obrtanja pogonskog vratila pumpe. Promena protoka se ostvaruje promenom nagiba klizne ploče prema osi vratila. Generalno, oba tipa klipno aksijalnih pumpi su složenije konstrukcije, većih gabarita i zahtevaju izuzetno preciznu izradu, te su i skuplje od zupčastih i krilnih pumpi, ali obezbeđuju veći protok i pritisak.

U poređenju sa pumpom za obezbeđenje cirkulacije rashladne tečnosti SUS motora, koja samo potiskuje rashladnu tečnost dozvoljavajući i povratno strujanje, klipno aksijalnepumpe usmeravaju tok hidrauličkog ulja u jednom smeru ali i sprečavaju povratno strujanje kada nisu u radu. Zato je rastojanje, između rotirajućih elemenata koji potiskuju ulje i kućišta pumpe, s namerom veoma malo (slike 4 i 5).



Slika 7. Hidrostatički pogon kombajna klipno-aksijalnim mašinama. [1].

Figure 7. Hydrostatic propulsion of harvester by piston-axial machines. [1].

Mobilne mašine često pokreće sprega klipno-aksijalnog motora i pumpe od kojih je jedan element varijabilnog, a drugi stalnog protoka. Šema ovakvog pogona kombajna data je na slici 7: 1 – džojstik; 2 – davač brzine; 3 – motori varijabilnog protoka; 4 – pumpe stalnog protoka; 5 – menjač; 6 – procesor; 7 – izbor hoda; 8 – izbor režima.

ZAKLJUČAK

U odsustvu prepreka strujanju radne tečnosti po izlasku iz pumpe, pad pritiska u hidrauličkom sistemu uslovljen je samo strujnim gubicima energije na savladavanje otpora pravolinijskih deonica cevovoda (linijski gubici) i lokalnim gubicima nastalim pri strujanju kroz svakod ugrađenih elemenata: kolena, lukova, konfuzora, difuzora, račvi, filtera, ventila itd. Kod hidrostatičkih sistema, gubici energije radne tečnosti se u najvećoj meri svode na gubitak potencijalne energije - pad statičkog pritiska. Pumpa održava strujanje stalnom nadoknadom izgubljene energije po jedinici mase/zapremine tečnosti, odnosno pritiska. To rezultira odgovarajućim porastom pritiska radne tečnosti iza pumpe, u potisnoj strani visokog pritiska sistema. Strujni gubici hidrauličke energije u hidrostatičkom sistemu su po pravilu izuzetno mali, jer su brzine veoma male. Dodatnim prigušivanjem toka, npr. pritvaranjem ventila ili aktiviranjem hidrauličkog cilindra nastaje dalji porast pritiska ulja u delu sistema od pumpe do ventila ili cilindra.

Ispravno konstruisane i održavane pumpe imaju veoma male zazore (procepe) između svojih elemenata, te je mogućnost recirkulacije radne tečnosti unutar pumpe svedena na minimum. Stoga tečnost praktično nema drugu mogućnost strujanja, osim kroz potisni deo cevovoda hidrostatičkog sistema ka potrošačima, što izaziva rast pritiska radne tečnosti koja izlazi iz pumpe. Ipak, nijedna pumpa nije idealno zaptivena i uvek postoji izvesno povratno strujanje (curenje) između pokretnih elemenata pumpe i njenog kućišta. Recirkulacija ima i dobru stranu, jer ovaj deo tečnosti podmazuje pokretne delove pumpe. Novije pumpe i pumpe sa većom otpornošću na trenje imaju veoma male zapreminske gubitke ulja usled povratnog strujanja fluida. Proces habanja elemenata hidrostatičke pumpe u toku radnog veka povećava zazore između njenih pokretnih i nepokretnih elemenata. Time se smanjuje njena mogućnost sprečavanja povratnog strujanja, kao i hidraulička energija i pritisak ulja na izlazu iz pumpe.

LITERATURA

- [1] Anonimous 2017. *Mobile hydraulic solutions for Combine Harvester - Pumps and Motors, Orbital Motors and Valves for Propel and Work Function*. Brochure. Danfoss A/S ©.
- [2] Chegini, R. G. 2013. Determine of Optimum Operating Conditions of Combine Harvester with Stripper-Header. *World Applied Sciences Journal*. 23(10): pp.1399-1407.
- [3] Ebrahimi, E., Zarei, A., Astan N. 2015. Evaluation of an Intelligent System for Prediction of Hydraulic Pump Failure in Grain Combine Harvester. *Agricult. Communications*. 3(3): 26-32.
- [4] Ercegović, Đ., Vukić, Đ., Raičević, D., Oljača M. 2006. Hidraulički sistemi prenosa snage u poljoprivrednoj tehnici. *Poljoprivredna tehnika*. 31(1): pp.101-112.
- [5] Gligorević, K., Oljača, V. M., Ercegović, Đ., Pajić M., Zlatanović, I., Dražić, M., Dimitrovski, Z. 2010. Mogućnost primene laserskog sistema upravljanja radnim procesom univerzalnog skreperskog ravnjača. *Poljoprivredna tehnika*. 35(2): pp.11-18.
- [6] Gligorević, K., Oljača, V. M., Ružičić, L., Radojević, R., Pajić, M. 2007. Uticaj elektronskih sistema na stabilnost vanputnih vozila. *Poljoprivredna tehnika*. 32(3): pp.11-18.
- [7] Grozdanić, B., Borak, Đ., Petrović, V., Bracanović, Z. 2012. Optimizacija hidrauličnog podizača traktora IMR-a. *Poljoprivredna tehnika*. 36(4): pp. 89-94.

- [8] Hassani, S. H., Jafari, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Setayesh, M. A. 2011. Hydraulic System of JD 955 Combine Harvester as Well as Presented Services Based on Statistical Analysis. *Asian Journal of Agricultural Research*. 5(1): pp.67-75.
- [9] Hunt, T. and Vaughan, N. 1996. *The Hydraulic Handbook*. Elsevier Science LTD., 9thed.
- [10] Isakov, S., Marinković, L., Mišković, Đ., Protulipac, T. 2009. Efekat prelaska sa konvencionalne na konzervacijsku obradu i setvu pšenice, soje, stočnog graška i pasulja. *Poljoprivredna tehnika*. 34(2): pp.115-124.
- [11] Kladivar, Š. R., Svoljšak, M., Feldin, M., Vižintin, J. 2002. Rapidly Biodegradable Hydraulic Fluids on the Basis of Rapeseed Oil. *Goriva i Maziva*, 41(4): pp.199-225.
- [12] Kodrič, M., Flašker, J., Pehan, S. 2017. Efficiency Improvement of Agricultural Winch Machines. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 63(3): pp.171-180.
- [13] Kosiba, J., Zdenko Tkáč, Z., Hujo, L., Tulik, J., Ševčík, P., Šinský, V., and Rašo, M. 2013. Effect of Ecological Energy Carriers on Flow Characteristics of Tractor Hydraulic Pump. *Journal of Central European Agriculture*, 14(4): pp.1415-1425.
- [14] Kučera, M., Aleš, Z., Ivandić, Z., L. Hujo L. 2013. Possibility of hydraulic fluids with a low environmental impact application in agriculture and transport machinery. *Journal of Central European Agriculture*. 14(4): pp.1575-1584.
- [15] Kuhar, E. J. 1992. *The fundamentals of service and theory of operation for hydraulic systems in off-road vehicles, trucks and automobiles*. John Deere Publishing, Illinois, USA.
- [16] Marković, D., Veljić, M., Simonović, V., Marković, I. 2011. Matematička interpretacija parametara vibracionog dodavača voćapo modelu masa-opruga-prigušivač. *Poljoprivredna tehnika*. 36(3): pp. 93-98.
- [17] Martinov, M., Đević, M., Novković, N., Savin, L., Ogrizović, B., Micković, G., Vidaković, V., Popović, M., Kekić, M. 2007. *Moj traktor*. Res Trade, Novi Sad, Republika Srbija.
- [18] Mitrović, D., Manojlović, R. 2009. Tehnološki i eksploatacioni parametri mehanizovane sadnje loznih kalemova. *Poljoprivredna tehnika*. 34(3):71-75.
- [19] Negrete, C. J. 2015. Informational and Conceptual Design of a Peanut Tractor Driven Harvester for Mexican Agriculture. *Poljoprivredna tehnika*. 40(4): pp. 9-18.
- [20] Petrović, P., Obradović, D., Dumanović, Z., Micković, G., 2007. Informativni pregled primena mehatroničkih sistema kod savremenih poljoprivrednih traktora. *Poljoprivredna tehnika*. 32(3): pp.1-9.
- [21] Petrović, V.D., Urošević, M., Radojević, L.R., Mileusnić, I.Z., Petrović, S., 2017. Razvoj hidrauličko-mehaničkog sistema automatske nivelacije berača maline i kupine. *Poljoprivredna tehnika*. 42(2): pp.1-10.
- [22] Prasuhn, L. A. 1992. *Fundamentals of Hydraulic Engineering*. Oxford University Press Inc., New York, USA.
- [23] Rusnák, J., Kadnár, M., Tóth, F. Kročko, M. 2013. Possibilities of using the ecological oil Arnica S 46 in agricultural engineering. *Journal of Central European Agriculture*, 14(4): pp.1444-1455.
- [24] Radivojević, D., Topisirović, G., Čirić, M. 2009. Ocena kvaliteta rada mikser distributer prikolice JF-STOLL u pripremi tmr obroka za muzne krave. *Poljoprivredna tehnika*. 34(4): pp.119-124.
- [25] Ružić, D., Stojić, B. 2009. Ekološki pogodna manipulacija otpadnim materijama poljoprivredne mehanizacije. *Poljoprivredna tehnika*. 34(4): pp.37-44.
- [26] Tekin B. A., Sındır, O. K. 2013. Variable Rate Control System Designed for Spinner Disc Fertilizer Spreader – “PreFer”. *Poljoprivredna tehnika*. 38(2): pp.45-53.

- [27] Veselinović, Š. Z. 2009. Priključna mašina za monofaznu kompleksnu agrotehniku. *Poljoprivredna tehnika*. 34(2): pp.1-8.
- [28] Veljić, M., Živković, D., Marković, D. 2010. Operativna gotovost hidrauličnog podsistema agregata traktor-setvospremač. *Poljoprivredna tehnika*. 35(2): pp.27-36.
- [29] Urošević, M., Živković, M., Komnenić, V. 2007. Eksploatacioni parametri tresaća koštičavog voća domaće proizvodnje. *Poljoprivredna tehnika*. 32(3): pp.33-38.
- [30] Živković, M., Urošević, M., Komnenić, V., Dražić, D., Radivojević, D. 2009. Aspekti obrade zemljišta u višegodišnjim zasadima. *Poljoprivredna tehnika*. 34(3): pp.65-69.
- [31] Živković, M., Urošević, M., Komnenić, V. 2008. Tehnološki i tehnički aspekti mehanizovane sadnje višegodišnjih zasada. *Poljoprivredna tehnika*. 33(3): pp.33-38.
- [32] Živković, D., Veljić, M., Marković, D. 2009. Operativna gotovost setvospremača kao kriterijum uspešnosti održavanja. *Poljoprivredna tehnika*. 34(2): pp. 61-68.

HYDROSTATIC TRANSMISSION SYSTEMS OF POWER AND MOTION

Vera B. Cerović¹, Dragan V. Petrović^{2*}

¹ University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade,

^{2*} University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Belgrade-Zemun

Abstract: The paper presents and analyzes the hydrostatic transmission of power and motion. The most important elements of this group of systems and the possibilities of their application in agricultural technology are given. Particular attention is paid to the positive-displacement pumps that have the widest application in agricultural machinery: gear pumps with external and internal gears, vane pumps, piston-axial pumps with inclined swash plate and piston-axial pumps with inclined cylinder block. Two hydrostatic power transmission and control systems are also presented. The first is a very simple mechanical- hydraulic system of automatic leveling of self-propelled berry fruits harvester. In contrast, the other hydrostatic system is very sophisticated. It is implemented as a very complex combination of hydrostatic and mechanical power transmission subsystems, with the accompanying control digital electronic system, and is intended for the wheat harvester propulsion and steering.

Key words: hydraulics, transmission, agriculture, machinery, pressure, flow

Submitted: 15.02.2018

Revised: 21.02.2018

Accepted: 30.03.2018

^{2*}Contact Author. E-mail adress: epetrodr@agrif.bg.ac.rs

This work is granted under project „Improvement of biotechnological procedures as a function of rational utilization of energy, agricultural products productivity and quality increase“, No. TR 31051, founded by Ministry of education, science and technological development of Republic of Serbia.