

**PRIMENA NAJNOVIJE GENERACIJE HIDROSTATSKIH TRANSMISIJA
U RAZVOJU POLJOPRIVREDNIH MAŠINA**

**APPLICATION OF THE LATEST GENERATION HYDROSTATIC
TRANSMISSIONS IN DEVELOPMENT OF AGRICULTURE MACHINES**

Marković D.^{*}, Branković D.^{**}

REZIME

U radu je data analiza postojećih tehničkih rešenja hidrostatskih transmisija samohodnih poljoprivrednih mašina, kao i mogući pravci razvoja i primene ove tehnologije na poljoprivrednim mašinama u budućnosti. Data je uporedna analiza tri sistema hidrostatske transmisije, sa posebnim osvrtom na prednosti i mane ovih sistema. Takođe je data analiza jednog rešenja za pogon poljoprivrednih mašina sa transportnim brzinama preko 40 km/h.

Ključne reči: hidrostatska transmisija, samohodne poljoprivredne mašine, razvoj

SUMMARY

This paper presents analysis of current technical solutions of hydrostatic transmissions of self propelled agricultural machines, as well as possible direction of development and appliance of this technology on agricultural machines in the future. Comparative analysis of three systems for hydrostatic transmission has been performed, with special attention of their advantages. This paper also includes analysis of one solution for hydrostatic transmission for reaching transport speed over 40 km/h.

Key words: hydrostatic transmission, self propelled agricultural machines, development

UVODNA RAZMATRANJA

Primena hidrostatskih transmisija datira još iz 60-tih godina prošlog veka Š5,12,14Ć. Primena hidrostatskog tipa pogona mašina u odnosu na mehaničke transmisije ima nekoliko ključnih prednosti:

- Prenos energije na velika rastojanja sa minimalnim gubicima
- Bolje iskorišćenje snage pogonskog motora

* Prof. dr Dragan Marković, Mašinski fakultet, Beograd

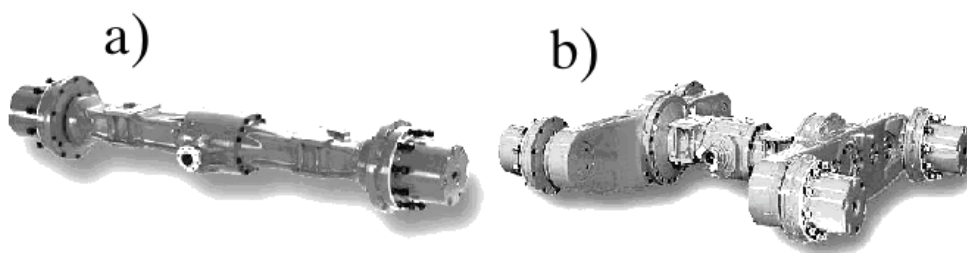
** Dragan Branković, ITN Food Business Development, Beograd

- Velika pouzdanost
- Mali eksploatacioni troškovi
- Pogodnost rada u ekstremnim uslovima rada
- Smanjenje mase cele mašine.

Najveći nedostatak hidrostatske transmisije je viša cena u odnosu na klasične mehaničke prenosnike snage. Ipak zbog svih prednosti ovog tipa pogona, svi proizvođači poljoprivrednih mašina su prihvatili generalni koncept hidrostatskih transmisija za pogon svojih mašina. Hidrostatska transmisija podrazumeva da se mehanička energija (snaga i obrtni momenat) pogonskog motora preko hidraulične pumpe pretvara u hidrauličnu (protok i pritisak) i putem cevovoda i crevovoda prenosi na izvršne radne organe (hidromotore) postavljene u točku mašine. Ovakav tip rešenja predstavlja najsavremeniju, ali i najskuplju transmisiju i koristi se uglavnom kod specijalnih poljoprivrednih mašina. Da bi smanjili troškove, proizvođači poljoprivrednih mašina primenjuju hidro-mehaničke transmisije sa manjom ili većom upotrebom reduktora i mehaničkih pogonskih mostova. Trenutno najčešće primenjivan tip transmisije je sa pogonom na samo prednje točkove, sa jednom klipno-aksijalnom pumpom promenljivog protoka i jednim dvoprotočnim (ili troprotočnim) klipno-aksijalnim motorom vezanim za mehanički pogonski most, slika 1a. Pogon na sva četiri točka može se izvesti na dva načina: dodavanjem dva klipno-radialna hidraulična motora u zadnje točkove ili mehaničkim mostom koji prenosi hidrauličnu energiju motora na prednju i zadnju osovinu, slika 1b. Ovakva rešenja imaju mogućnost postizanja maksimalne transportne brzine od 65 km/h. Prednosti ovakvog sistema se ogledaju u malom broju hidrauličnih komponenti (niža cena), lakom održavanju i niskom nivou tehničkog znanja neophodnog za njegovo održavanje. Najveća mana ovog sistema je da se kompenzacija dinamičkih udara delimično vrši unutar mehaničkog mosta, što može dovesti do oštećenja mnogobrojnih zupčanika i osovina.

Gore prikazano rešenje nije prihvatljivo za pogon specijalnih poljoprivrednih mašina, čiji su uslovi rada izuzetno teški i kojima je potreban što veći klirens.

Na slici 2. je prikazano rešenje hidrostatskog pogona sa reduktorom broja obrtaja između hidrauličnog motora i točka (3). Ovakvo hidrostatsko kolo sastoji se od klipno-aksijalne pumpe, dvoprotočnog klipno-aksijalnog hidrauličnog motora sa nagnutom osom (1) i reduktora broja obrtaja (2). Najčešći prenosni odnos u ovakvim reduktorima je $i = 35-45$. U reduktor se ugrađuju integrisana parking kočnica ili aktivna disk kočnica. Velika

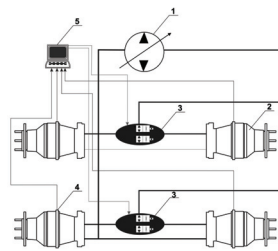


Sl. 1. Mehanički pogonski most Š18C
Fig. 1. Mechanical drive axle Š18C

prednost ovakvog hidrostatskog sistema je njegova cena. Dvoprotočni klipno-aksijalni motori imaju cenu od oko 60% nižu u odnosu na klipno-radikalne sporohodne motore visokog obrtnog momenta, dok su reduktori iz velikoserijske proizvodnje, neznatno modifikovani da zadovolje potrebe proizvođača mašine. Takođe velika prednost u odnosu na prvoopisani sistem nepredviđena dinamička na hidraulično kolo gde se ventilima u kolu ili u pumpi.

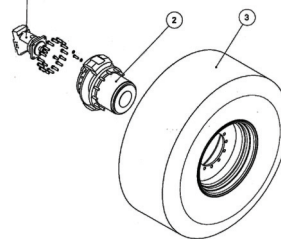
Sl. 2. Hidrostatska točka: 1-Dvoprotočni klipno-osom, 2-Reduktor broja Š6,10Ć

Fig. 2. Hydrostatic transmission with 1-Twin-flow axial-piston bent axis 2-Gearbox, 3-Wheel Š6,10Ć



transmisije je što se opterećenja direktno prenose kompenzuju sigurnosnim i šok

transmisija sa reduktorom u aksijalni motor sa nagnutom obrtaja, 3-Točak



gearbox in wheel: hydraulic motor,

generacije sistemu za pogon najčešće jedne pritiska (radni

Hidrostatska transmisija poslednje isključuje bilo kakav mehanički sklop u mašine. Hidraulično kolo se sastoji od klipno-aksijalne hidraulične pumpe visokog pritiska (do 480 bar), i onoliko klipno-radikalnih hidrauličnih motora koliko mašina ima točkova. Ovakva kola se dodatno opremaju sensorima i centralnim računarima za upravljanje i kontrolu sistema.

Tendencija razvoja i analiza hidrostatskih transmisija za poljoprivredne mašine

Na slici 3. prikazana je funkcionalna šema hidrostatskog kola poslednje generacije. Kolo je opremljeno i sistemom za kontrolu proklizavanja točkova čime se mogućnosti rada mašine u otežanim i ekstremnim uslovima znatno poboljšavaju.

Sl. 3. Funkcionalna šema hidrostatske transmisije sa sistemom za kontrolu proklizavanja točkova: 1-Hidraulična pumpa, 2-Klipno-radikalni hidraulični motor, 3-Ventili za kontrolu proklizavanja, 4-Davač broja obrtaja hidrauličnog motora, 5-Kompjuter za upravljanje sistem za proklizavanje točkova Š3Ć

Fig. 3. Schematic of hydrostatic transmission with anti slip system: 1-Hydraulic pump, 2-Radial-piston hydraulic motor, 3-Anti-slip valves, 4-Speed sensors, 5-Central computer Š3Ć

Hidraulična pumpa (1) preko ventila za kontrolu proklizavanja točkova (3) pokreće sporohodne klipno-radikalne hidromotore visokog obrtnog momenta. U normalnim uslovima ventil deli protok sa pumpe u odnosu na 50:50. Svaki hidromotor ima u svom kućištu davač broja obrtaja (4) magnetnog tipa koji su povezani sa centralnim računarom

(5) koji poredi brzine obrtanja svakog točka. Ukoliko neki od točkova proklizava, senzor će registrovati veću brzinu. Nakon toga reakcija sistema je trenutna. Centralni računar šalje električni signal ka ventilu koji vrši redukciju protoka ulja prema motoru, čime se motor usporava. Redukcija protoka se vrši proporcionalno razlici brzine obrtanja točka koji proklizava i ostalih točkova. Smanjenjem protoka, smanjuje se i zagrevanje hidrostatskog ulja što je dodatna prednost ovog sistema. Poslednja generacija klipno-radijalnih motora predstavljenih krajem 2003. godine imaju i mogućnost ugradnje (po želji proizvođača mašine) doboš kočnica (koje imaju funkciju parking kočnice) ili ugradnju multi-disc kočnica potopljenih u ulju (za aktivnu upotrebu) čime se usporavanje mašine ne vrši samo hidrostatički (kao što je obično slučaj) već i mehanički. Ovakav hidrostatski sistem nema slabosti opisane kod prethodnih sistema, ali mu je cena daleko veća.

Prikazana funkcionalna šema nema ograničenje po broju pogonskih točkova. Minimum je dva, a maksimum unutrašnjim sagorevanjem, kao i gabariti i uslovi rada kolo poslužice kao osnova projektovanja hidrostatskih

Dalji razvoj ovih sistema će hidrostatskih i hidrauličnih unutrašnjim sagorevanjem sa funkcionalnu celinu, i programa za upravljanje

Na slici 4. prikazano je integracije računara, unutrašnjim sagorevanjem tehnologija). Sam računar

mašine, dok će se program (software) razvijati namenski za svaku mašinu. Računar je u mogućnosti da prima informacije sa maksimalno 21 davača ili preko CANbus veze. Software će omogućavati izbor nekoliko režima rada koji međusobno mogu biti veoma različiti. Razvijanje jedinstvenih programa za svaku mašinu omogućava bolje iskorišćenje mašine, smanjenu potrošnju goriva, smanjen nivo buke i manji zamor operatera mašine, i jednostavnu i brzu dijagnostiku priključkom na personalne računare preko RS232 porta.



Sl. 4. Funkcionalna šema hidrostatske transmisije budućnosti Š4Ć

Fig. 4. Schematic of hydrostatic drive of the future Š4Ć

diktira snaga motora sa kapacitet hidraulične pumpe, mašine. Ovakvo hidrostatsko daljeg razvoja prilikom transmisija u budućnosti.

ići u smeru integracije sistema i motora sa računarima u jednu kreiranju namenskih hidrostatskom transmisijom.

jedno idejno rešenje hidrostatskog kola i motora sa (tzv. SMART Drive hardware) je isti za sve

Hidrostatske transmisije za veće transportne brzine samohodnih poljoprivrednih mašina

Jedan od uslova koji se postavlja pred savremene samohodne poljoprivredne mašine je i povećanje transportne brzine mašine na 40 km/h. Samohodne poljoprivredne mašine proizvedene između 1980. i 2000. godine imale su transportne brzine od 20-25 km/h. Povećanjem transportne brzine na 40 km/h, smanjuje se vreme transporta mašine, a samim tim i povećava učinak mašine u toku jedne godine. Kao osnovni problem povećanja transportne brzine kod hidrostatskih sistema javljaju se:

- a) nepostojanje klipno-radikalnih hidrauličnih motora koji omogućavaju brzine preko 25 km/h
- b) problem rešenja hidrauličnih pumpi velikog specifičnog protoka
- c) cena koštanja ovakvog hidrostatskog kretnog sistema

Krajem devedesetih godine vodeći svetski proizvođači klipno-radikalnih motora predstavili su najnoviju generaciju dvoprotočnih motora koji omogućavaju transportne brzine mašina do 60 km/h. Samim tim prvi problem je rešen. Međutim jedan ovakav motor ima specifičan protok (u transportnom režimu rada) između 400-600 cm³/o. Pod pretpostavkom da je na prednjem točku mašine pneumatik dimenzija 800/65R32 i da je specifičan protok motora 545 cm³/o, za postizanje brzine 40 km/h potrebno je 120 min⁻¹ motora. Za dva ovakva motora potrebna je klipno-aksijalna pumpa koja je u stanju da isporuči hidrostatskom kolu 130 l/min. Ukoliko mašina ima pogon na četiri (ili čak i šest) točkova, lako se zaključuje da je neophodno obezbediti 260, odnosno 400 l/min hidraulične energije.

Na slici 5. prikazana je funkcionalna šema rešenja primenjenog za pogon silažnog kombajna. Hidrostatsko kolo se ima dve hidraulične klipno-aksijalne pumpe promenljivog protoka. Prva pumpa (1) namenjena je za pogone prednjih točkova (4), a druga za pogon zadnjih (5). Obe pumpe imaju zajedničkii potisni vod do regulacionog ventila (3). Regulacioni ventil je elektro-hidraulički komandovan. Kada je mašina u radnom režimu regulacioni ventil deli potisni vod na dva potisna voda, srazmerno specifičnom protoku motora i dimenzijama pneumatika (kako bi brzine prednjih i zadnjih točkova bile iste).

Izborom transportnog režima, aktivira se elektromagnet na regulacionom ventilu koji prekida potisni vod ka zadnjim točkovima i ukupan protok sa obe pumpe se usmerava na prednje točkove, čime se postiže transportna brzina 40 km/h.

Za manje poljoprivredne mašine (npr. mašine za čupanje metlica semenskog kukuruza, samohodne prskalice i sl.), primenom najnovije generacije klipno-radikalnih motora malog specifičnog protoka (150-250 cm³/o), moguće je povećati transportnu brzinu do 60km/h, upotrebom samo jedne hidraulične pumpe.

Sl. 5. Funkcionalna šema transportne brzine 40 km/h: 1- prednjih točkova, 2- zadnjih točkova, 3-Hidraulični pogon prednjih točkova, 5- zadnjih točkova Š2Ć

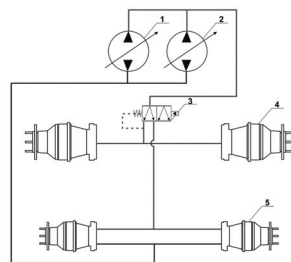


Fig. 5. Schematic of transport speed 40 km/h: 1- pump, 2-Rear wheel drive hydraulic pump, 3-Control valve, 4-Front wheel drive motors, 5- Rear wheel drive motors Š2Ć

hidrostatskog pogona za Hidraulična pumpa za pogon Hidraulična pumpa za pogon ventil, 4-Hidraulični motori za Hidraulični motori za pogon

hydrostatic transmission for Front wheel drive hydraulic

Rear wheel drive motors Š2Ć

ZAKLJUČAK

Dalji razvoj komponenti hidrostatske transmisije (pre svega klipno-aksijalnih hidrauličnih pumpi i klipno-radikalnih hidrauličnih motora) kao i integracija elektronike i računara u ove sisteme, diktiraće dalje pravce razvoja ovih sistema. Prvo prikazani sistem je svojom cenom najprihvatljiviji i još dugo će biti primenjen kao osnovni sistem za pogon univerzalnih kombajna. Drugi sistem koji je prikazan je dominantan u specijalnim poljoprivrednim mašinama (berači kukuruza, kombajni za šećernu repu), dok je najsavremeniji sistem u primeni kod najkompleksnijih samohodnih poljoprivrednih mašina (kombajni za povrće). Zajednička karakteristika svih prikazanih sistema je visoka pouzdanost i mali eksploatacioni troškovi (najnoviji klipno-radikalni motori dolaze sa \pm lifetime² garancijom), što definitivno ne ostavlja mogućnost za primenu mehaničkih prenosnika snage na poljoprivrednim mašinama budućnosti. Najveći nedostatak ovih sistema je njihova cena (15-25% od ukupne vrednosti mašine), koja će u budućnosti biti smanjena velikoserijskom proizvodnjom najnovije generacije hidrauličnih komponenata i njihovom sve većom primenom.

LITERATURA

- /1/ Claas Industrietechnik GmbH - Product catalogue ö Drive axles, Nemačka, 2004.
- /2/ Instruction Manual Krone forage harvester., Spelle, Nemačka, 2003.
- /3/ Instruction Manual PMC Harvesters Ltd., Fakenham, UK, 2003.
- /4/ International Vehicle Technology iVT, Dorking, UK, 2003.
- /5/ Kelić N. V., Hidroprenosnici, Naučna knjiga Beograd, 1988.
- /6/ Livret d'entretien Bourgoin JLD, Chantonay, Francuska, 2004.
- /7/ Marković D., Branković D., Brajanoski B.: Linije mašina za ubiranje i preradu konzumnog gaška i kukuruza šećerca, Savremena poljoprivredna tehnika, 29(2003), 3.
- /8/ Matthies J.H, Meier F.: Yearbook Agricultural Engineering, KTBL, VDI-MEG, VDMA, Band 13, Münster, Nemačka, 2001.
- /9/ Matthies J.H, Meier F.: Yearbook Agricultural Engineering, KTBL, VDI-MEG, VDMA, Band 13, Münster, Nemačka, 2002.
- /10/ Notice d'instructions Moreau VOLTRA, Noyelles, Francuska, 2003.
- /11/ Novaković Vl., Ercegović Đ., Marković D.: Разви миние нових мехнологических схем комбайна в Југославији, International Scientific Conference, University

- of Rouse "Angel Kanchev", Agricultural Machinery and Technologies, Proceedings, Volume 37, Book 1, p. 50-58, Rouse, Bulgaria, 1999.
- /12/ Novaković Vl., Marković D., Krivokapić I., Čebela Ž.: *Automatsko regulisanje režima rada kombajna*, IV Naučno stručni skup: Merenja i automatizacija u poljoprivredi, Zbornik radova, str. 387-393, Novi Sad, Poljoprivredni fakultet, 1995.
- /13/ Novaković Vl., Frolov K.V., Ercegović Đ., Marković D., Obradović V., Čebela Ž.: *New Technological solutions of Combine Drive and Technological Devices*, International Scientific Conference of Russian Science Academy IMAŠ-RAN, Proceedings, Moscow, Russia, 1998.
- /14/ Novaković Vl., Marković D., Obradović B., Čebela Ž.: *Optimizacija pogona kretanja i tehnoloških uređaja kombajna*, IV Naučno stručni skup: Merenja i automatizacija u poljoprivredi, Zbornik radova, str. 379-387, Novi Sad, Poljoprivredni fakultet, 1995.
- /15/ Novaković Vl., Marković D., Ercegović Đ.: *Новие концепции модулног система и хидраулическим проводом рабочих модулей*, International Scientific Conference, University of Rouse "Angel Kanchev", Agricultural Machinery and Technologies, Proceedings, Volume 37, Book 1, p. 16-25, Rouse, Bulgaria, 1999.
- /16/ Obradović B.: *Očekivani pravci razvoja hidrostatičkih sistema i komponenata*, Jugoslavenski časopis za upravljanje proizvodnjom Proizvodnja, Beograd, 1983.
- /17/ *Pea Viner Performance Trials 1999/2000 Harvest*, Conducted for Heinz Watties Australia by the Natural Resources Engineering Group, Lincoln University, Canterbury, NZ, Mart, 2000.
- /18/ *Products catalogue NAF*, Neunkirchen, Nemačka 2004.
- /19/ *Products catalogue Poclain-Hydrostatic Transmissions*, Verberie, Francuska, 2003.
- /20/ Savić V.: *Uljna hidraulika I - Hidraulične komponente i sistemi*, Zenica, 1990.
- /21/ *Technical Information SAUER-DANFOSS Series 51 Motors*, Nemačka, 2002.
- /22/ *Technical Information SAUER-DANFOSS Series 90 Motors*, Nemačka, 2002.
- /23/ *Technical Information SAUER-DANFOSS Series 90 Pumps*, Nemačka, 2002
- Primljeno: 20.01.2004 Prihvaćeno: 27.01.2004.