

UDK: 631.372:62-585.2

## HIDRAULIČKI SISTEMI PRENOSA SNAGE U POLJOPRIVREDNOJ TEHNICI

**Duro Ercegović, Đukan Vukić, Dragiša Raičević, Mićo Oljača**

*Poljoprivredni fakultet - Beograd*

**Sadržaj:** Današnji razvoj poljoprivrede karakteriše osvajanje i primena novih tehnologija i savremenih tehničkih sredstava koja će obezbediti kvalitetno i ekonomski opravdano obavljanje predviđenih tehnoloških operacija, uz što manji utrošak energije, ljudskog rada i vremena, očuvanje okoline i obezbeđenje humanih uslova za rukovaoce.

Izbor vrste pogona poljoprivrednih mašina predstavlja značajno pitanje koje utiče na upotrebnost i tržišnu vrednost mašina. Mehanički prenosnici snage ne zadovoljavaju sve strožije zahteve za promenom izlaznih parametara ili ova rešenja postaju komplikovana i skupa. Zbog toga se savremeni razvoj prenosa snage u poljoprivrednoj tehnici sve više bazira na hidrauličkom prenosu snage.

U radu će biti prikazane varijante hidrostatičkog i hidrodinamičkog prenosa snage i analiza pogodnosti povezivanja elektromotora i motora SUS sa turbospojnicama i turbomenjačima.

**Ključne reči:** *hidraulika, prenos snage, spojnica, pretvarač obrtnog momenta.*

### UVOD

Najjednostavniji način prenosa energije, koji se može primeniti kod raznih pogona i mašina, je mehanički prenos preko poluga, vratila, spojnice i zupčanika. Sa razvojem tehnike povećavaju se zahtevi pri prenosu energije; zahteva se promenljivost brzine kretanja, obrtnog momenta, broja obrta, periodično prekidno kretanje i dr., u širokom dijapazonu. Ove složene zahteve u sistemu prenosa snage sa uspehom mogu da reše prenosnici hidrauličke energije.

Danas se hidraulički prenosnici koriste u svim granama industrije, saobraćaja i dr. U nekim granama i kod nekih mašina su skoro potpuno zamenili klasične prenosnike. Široka primena hidrauličkih sistema prenosa snage bazirana je na razvoju pojedinačnih komponenti i hidrauličkih sistema kao celine, a ubrzano se razvijala klasična, proporcionalna i servohidraulika, uz kombinaciju sa elektronikom, kako bi primena hidrauličkih sistema bila optimalna.

Danas većina savremenih poljoprivrednih mašina sadrži hidrauličke komponente. Promenjen je zadatak i uticaj rukovaoaca jer je sve veća težnja da se automatizuje sistem prenosa snage, a rukovaoac ima udela samo u kontrolnoj funkciji.

## SISTEMI PRENOSA SNAGE

Hidraulični prenosnik predstavlja uređaj u kome se pomoću fluida prenosi energija sa jednog mesta na drugo. Ali u ovom uređaju se obavljaju i druge funkcije: transformacija jednog oblika energije u drugi, regulacija protoka, pritiska i smera kretanja fluida. Svaki hidraulički sistem se sastoji iz tri osnovne grupe elemenata:

- Pogonskog agregata;
- Upravljačko regulacionih elemenata;
- Izvršnog organa (jednog ili više).

Pogonski agregat	"Izvor" energije	Motor sa unutrašnjim sagorevanjem, elektromotor ili drugi agregat
	Pretvarač energije	Zapreminska pumpa, krilna, klipna, zavojna ili dr. konstrukcije



Upravljačko-regulacioni elementi	Razvodnik, ventil za regulaciju pritiska, ventil za regulaciju protoka i dr. elementi
----------------------------------	---

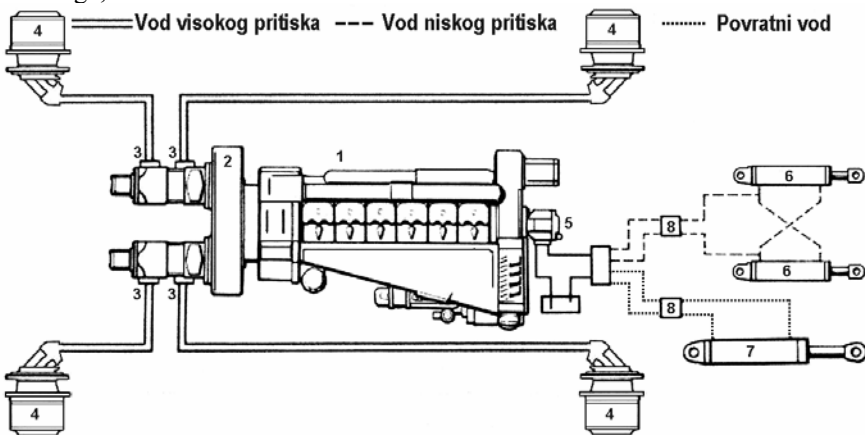


Izvršni organ	Pretvarač energije	Hidraulički motor: linearni, rotacioni ili oscilatorni
	Korisnik energije	Proizvodna mašina, transportno sredstvo, poljoprivredna mašina ili drugo

Sl. 1. Principijelna blok šema hidrauličkog sistema

S obzirom na način prenosa i transformaciju energije fluida razlikuju se dve vrste prenosa: hidrostatički i hidrodinamički.

**Hidrostatički prenos** ostvaruje se prenosom pritiska u jednom zatvorenom strujnom kolu, između pumpe koja mehaničku energiju transformiše u energiju pritiska i motora, koji energiju pritiska transformiše u mehanički rad. Pri ovom prenosu fluid mora da bude nestišljiv da u prenosu ne bi nastupila promena, iz čega proizilazi korišćenje hidrauličkog ulja odgovarajućeg viskoziteta, kao najpovoljnijeg fluida za hidrostatički prenos snage, slika 2.

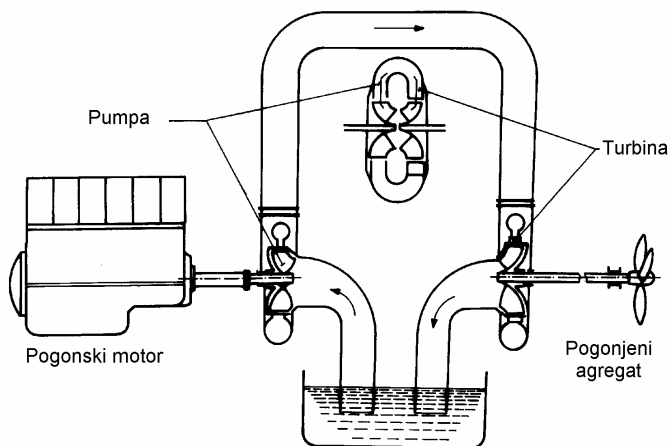


1-Dizel motor, 2-Reduktor, 3-Hidro pumpe, 4-Hidro motori+pl. reduktor, 5-Hidro pumpa za upr.sis., 6-Hidro cilindri za uprav., 7-Hidro cilindar doz.das., 8-Ventili

Sl. 2. Hidrostatički prenos snage

Hidrostatski prenos snage zahteva zatvoreno fluidno kolo pumpa - motor. Da bi se mehanička energija transformisala u pritisak potrebno je zaptivanje metalnih delova pumpe i visok kvalitet obrade. Da bi se energija pritiska transformisala u mehaničku energiju motor treba da bude dobro zaptiven i sa visokim kvalitetom obrade. Treba imati u vidu da radi efikasnosti transformacije većih snaga treba ići na visoke pritiske, što u praksi predstavlja ozbiljan nedostatak primene hidrostatskog pogona.

**Hidrodinamički prenos** za prenos energije koristi kinetičku energiju mase fluida u nekom primarnom radnom kolu - **pumpa**, koja se usporava u sekundarnom radnom kolu - **turbina**. Mehanički rad u pumpi se transformiše ubrzavanjem fluida u kinetičku energiju koja se usporavanjem fluida u turbini ponovo pretvara u mehanički rad, slika 3.



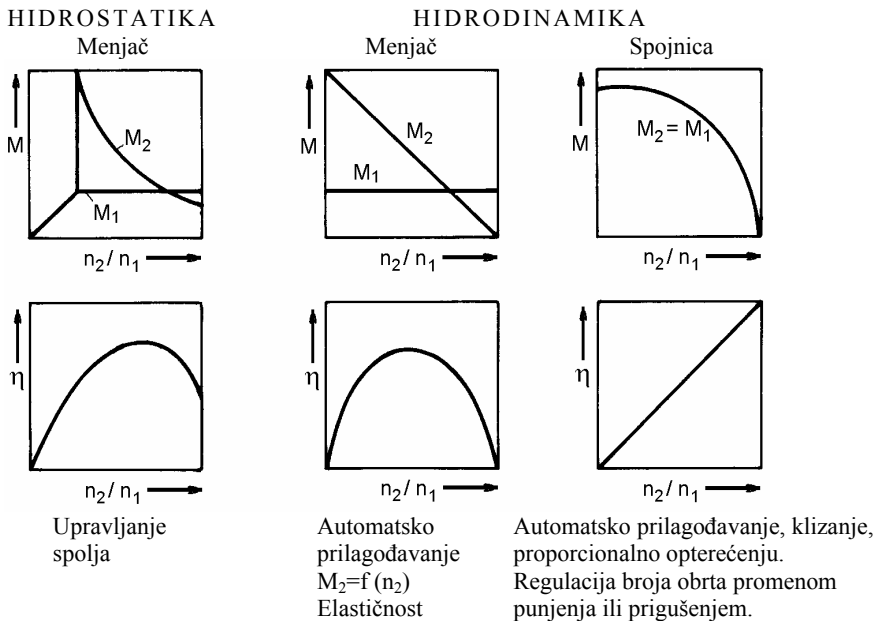
Sl. 3. Princip hidrodinamičkog prenosa snage

Hidrodinamički prenos ne zahteva potpuno zatvoreno fluidno kolo, jer između pumpe i turbine postoji određen procep, pa je trenje svedeno na trenje tečnosti pri proticanju. Kvalitet obrade nije najvažniji uslov za ovu vrstu prenosa, a snaga koja se može preneti je praktično ograničena jedino izdržljivošću materijala.

Na slici 4 prikazano je upoređenje hidrostatskog i hidrodinamičkog prenosa snage. Sa dijagrama se zaključuje da hidrostatski prenos ima povoljniji oblik krive stepena korisnosti. Prednost hidrodinamičkog prenosa je u tome što se moment i broj obrta automatski prilagođavaju radnim uslovima, dok se kod hidrostatskog prenosa regulacija mora vršiti spoljnim impulsima. Automatsko prilagođavanje radnim uslovima omogućava elastičnost hidrodinamičkog prenosa što predstavlja prednost u primeni, naročito kod čestih promena radnih uslova.

Ako se uporede ova dva sistema prenosa snage na bazi gabarita može se zaključiti da pri prenosu malih snaga prednost ima hidrostatski prenos. Snaga hidrodinamičkog prenosa je, pri određenoj specifičnoj težini fluida i broju obrta, zavisna od petog stepena prečnika ( $M=c \cdot \rho \cdot D^5 \cdot n^2$ ), tako da je pri prenosu velikih snaga povećanje prečnika minimalno. Iz ovog jasno proizilazi da je prednost hidrodinamičkog prenosa samo pri velikim snagama, a da za male snage prednost poseduje hidrostatski prenos.

Međutim, opšti zaključak o prednosti jednog ili drugog sistema može se doneti kada se uzmu u obzir prikazani faktori, kao i niz drugih: ponašanje u eksploataciji, vek trajanja, uslovi održavanja i rukovanja, način izrade i dr. Što se tiče komplikovanosti proizvodnje prednost imaju hidrodinamički agregati i elementi, jer ne zahtevaju vrlo kvalitetnu obradu. Eksploatacija i rukovanje su lakši sa elementima hidrodinamičkog prenosa, koji ne zahtevaju posebnu negu i održavanje, što je kod hidrostatskog prenosa od suštinske važnosti za vek agregata i elemenata.



Sl. 4. Upoređenje hidrostatičkog i hidrodinamičkog prenosa snage

Što se tiče proizvodnje i primene u svetu postoje pristalice oba sistema, a inercija postojeće proizvodnje često je presudna u opredeljenju za neku primenu. Teško je na primer primeniti hidrostatički prenos kod dizel lokomotiva, mada neke firme (švajcarska firma "VON ROLL") ugrađuju prenosnike sa pumpama i motorima klipnog tipa. Slična je situacija kod prenosa snage kod traktora. Prema nekim autorima smatra se da više odgovara primena hidrostatičkog prenosa, ali polazeći jedino od teorijskih mogućnosti hidrostatičkog i hidrodinamičkog prenosa. Praktična rešenja u ovoj oblasti su sve više hidrodinamičkog karaktera. Treba istaći da su kod malih transportnih sredstava za unutrašnji transport (viljuškari i sl.) u primeni češće rešenja sa hidrostatičkim prenosom, koja ovde imaju očiglednu prednost.

Prema tome, opšti zaključak bi bio da, posmatrano u najširim uslovima primene i na današnjem nivou tehnike, hidrodinamički prenos ima minimalnu prednost, nad hidrostatičkim. Ima slučajeva gde je prednost hidrostatičkog prenosa izrazita, a primena neminovna. To znači da ova dva tipa prenosa snage pomoću fluida, funkcionalno različita, ne isključuju jedan drugog, i da se oblasti primene preklapaju.

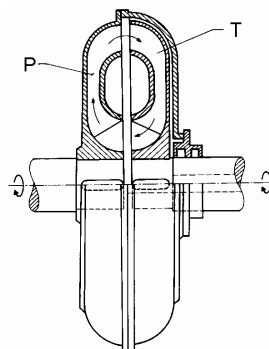
### PRIMENA HIDRODINAMIČKIH SPOJNICA

Hidrodinamička spojnica je najprostiji agregat hidrodinamičkog prenosa snage, a sastoji se iz dva osnovna hidraulička elementa: radnog kola pumpe i radnog kola turbine, slika 5.

Snaga se sa vratila radnog kola pumpe, koje je vezano za pogonski agregat, prenosi na vratilo radnog kola turbine koje je vezano za gonjeni agregat (mašinu), preko tečnosti koja struji u radnim kolima. Oblik radnih kola je takav da omogućava zatvoreni krug cirkulacije tečnosti iz radnog kola pumpe u radno kolo turbine. To obezbeđuje efikasan

način "elastičnog" prenosa snage sa pogonskog na gonjeni agregat (mašinu), tako da koeficijent prenosa snage iznosi  $\eta = 0,95$  do  $0,98$ .

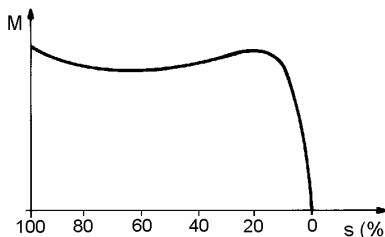
Oblast primene treba da bude odabrana tako da klizanje bude dovoljno malo odnosno da  $\eta$  bude što veći. Ako je klizanje jednako nuli ( $n_1=n_2$ ) nema prenošenja momenta. Moment kod hidrodinamičkih spojnice (kao kod svih turbomašina) jednak je proizvodu protočne mase u sekundi i razlike proizvoda poluprečnika i projekcije apsolutne brzine fluida na pravac obimne brzine na ulazu i izlazu iz radnog kola. U slučaju da je broj obrta radnog kola pumpe i turbine jednak pritisak tečnosti u oba kola spojnice bi se izjednačio i poništio, tj. ne bi se mogao preneti moment.



Sl. 5. Šema hidrodinamičke spojnice: P - pumpno radno kolo; T - turbinsko radno kolo

### ZAJEDNIČKI RAD ELEKTROMOTORA I HIDRODINAMIČKE SPOJNICE

Zajednički rad elektromotora i hidrodinamičke spojnice može predstavljati dobro tehničko rešenje. Osnovni zahtev koji se pri tome postavlja jeste brzo postizanje startnog momenta kako bi se što brže prešlo iz oblasti velikih polaznih struja i velikog zagrevanja elektromotora u oblast stabilnog rada. To se postiže posebnim konstrukcionim rešenjem sa komorom i pretkomorom, čime se obezbeđuje da zavisnost momenta koji može preneti spojnice od veličine klizanja pri konstantnom pogonskom broju obrtaja ima oblik položene parabole, što odgovara navedenom zahtevu. Na slici 6 prikazan je tipičan oblik te karakteristike.



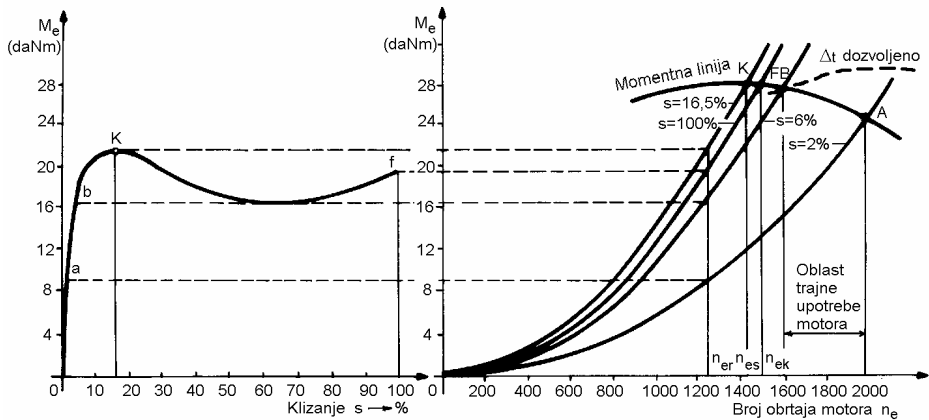
Sl. 6. Karakteristika momenta hidrodinamičke spojnice

Prilikom puštanja u rad elektromotornog pogona sa hidrodinamičkom spojnicom, kada klizanje dostigne vrednost od oko 10-15% moment se drži na konstantnoj vrednosti i kada se radna mašina približi konačnom broju obrtaja moment opada i broj obrtaja raste do radne brzine koja odgovara stabilnom radu elektromotornog pogona. Primena hidrodinamičke spojnice pruža niz pogodnosti od kojih su najvažnije:

- neopterećenost motora u trenutku startovanja što ima za posledicu smanjenje polaznih struja i dobro hlađenje;
- mogućnost primene jeftinih i prostih elektromotora (kavezni asinhroni motori) i ostale električne opreme uz zadovoljavajuću pogonsku pouzdanost i sigurnost;
- uspešno pokretanje elektromotora i pri značajnim padovima napona u mreži;
- mogućnost podešavanja maksimalnog momenta sa promenom punjenja u širokim granicama;
- uravnoteženje kod svih vrednosti obrtnog momenta;
- dobre pogonske osobine elektromotora u slučaju mogućih smetnji u radu;
- sopstvena mogućnost uravnoteženja kod višemotornog pogona.

## ZAJEDNIČKI RAD MOTORA SUS I HIDRODINAMIČKE SPOJNICE

Slika 7 prikazuje karakteristiku zajedničkog rada dizel motora sa unutrašnjim sagorevanjem i hidrodinamičke spojnice. Levo je prikazan dijagram momenta koji spojnica može da prenese, pri konstantnom broju obrtaja u zavisnosti od klizanja. Na desnom dijagramu dat je moment motora SUS zavisnosti od broja obrtaja. Parabole u ovom dijagramu su linije momenta koje spojnica može da prenese pri različitim vrednostima klizanja. Dijagram daje jasnu smernicu u projektovanju ugradnje hidrodinamičke spojnice za prenos snage kod motora SUS.



Sl. 7. Karakteristika zajedničkog rada motora SUS i hidrodinamičke spojnice

U presečnoj tački A, pri punom opterećenju motora, spojnica mora da prenese potreban moment. Kod praktično najmanjeg mogućeg klizanja (~2%), hidrodinamička spojnica treba da radi pod stalnim opterećenjem do tačke B, koja se nalazi u preseku krive sa 6% klizanja i granične linije dozvoljene temperature radnog fluida. Pri porastu opterećenja, tačka B sa 100% klizanja, pri punom opterećenju, mora ležati na liniji momenta pri punom opterećenju, ali sa dovoljnim brojem obrta da se motor ne ugasi. Oblast od 6% do 100% klizanja, zbog temperaturske granice, ne sme biti oblast trajne primene motora. Karakteristična je tačka startnog momenta (tačka kod ~18% klizanja, koja mora ležati u oblasti krive momenta pri punom opterećenju, da ne bi došlo do prestanka rada, odnosno do "gušenja" motora. Tačka startnog momenta pri praznom hodu je značajna, naročito ako ne postoji sigurnosna spojnica na mašini. U tom slučaju, obzirom da je moment motora veći, mašina se može zaustaviti prebacivanjem na prazan hod. Deo energije koji spojnica pri tome troši minimalan je i u dozvoljenim granicama, ako je ona pravilno odabrana i dimenzionisana.

Prednosti veze motora SUS sa hidrodinamičkom spojnicom, u odnosu na klasičnu - mehaničku vezu su značajne. Poznato je da motor SUS može tek pri znatno većem broju obrta motora, u odnosu na broj obrta praznog hoda, preneti moment potreban za pokretanje motornog vozila, traktora, bagera, i sl. Ovaj problem se, sa klasičnom spojnicom na principu trenja, rešava na sledeći način: kod startovanja, kada motor postigne potreban broj obrta, pažljivim "otpuštanjem" spojnice (odnosno povećanjem trenja) prenosi se momenat na vozilo sve dok se ono dovoljno ne ubrza i ostvari prenos čvrste veze. Ovo zahteva pažljivo rukovanje, jer prebrzo otpuštanje spojnice, ili neki dodatni otpor može da predstavlja izuzetan problem. Kod pogona motornog vozila, traktora, bagera, i dr., radi prilagođavanja uslovima rada obično je ugrađen i mehanički

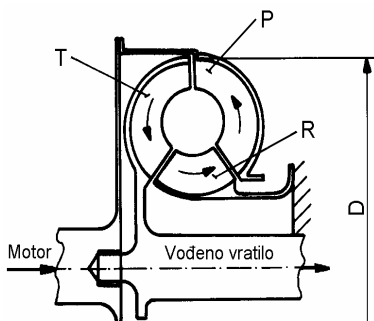
menjački prenosnik. Spojnica ovde ima zadatak prekida prenosa snage pri promeni stepena prenosa. Ovi nedostaci mogu se otkloniti ugradnjom hidrodinamičke spojnice, koja tek pri velikom broju obrta dobija potrebnu "propusnu mogućnost".

Ostale prednosti zajedničkog rada motora SUS i hidrodinamičke spojnice su sledeće:

- Kod nedovoljno pažljivog rukovanja vozilom, traktorom i dr. nije moguće preoptereti motor i prouzrokovati prestanak njegovog rada;
- Moguće je preneti punu vučnu silu motora na zakočeno vozilo u startu, preko pedale gasa povećanjem broja obrta, i na taj način polazak na usponu ili sa dodatnim početnim otporima je bezopasan;
- Startovanje je moguće kod bilo koje brzine vozila;
- Kod čestog zaustavljanja nije potrebno isključivanje prenosa;
- "Meka" vožnja koju omogućava hidrodinamička spojnica štiti motor i ostale delove vozila od preteranog istrošenja delova.

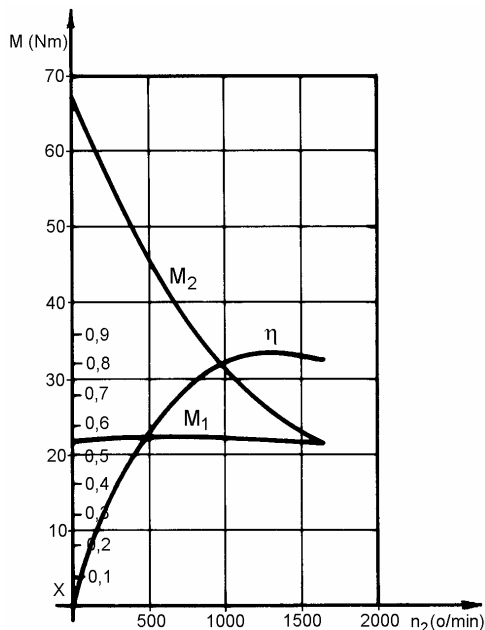
### PRIMENA HIDRODINAMIČKIH PRETVARAČA MOMENTA

Hidrodinamički pretvarač momenta je turbomašina namenjena za prenos i transformaciju snage obrtnog kretanja posredstvom ulja koje cirkuliše kroz strujni prostor radnih kola. Prenos snage se vrši bez krute veze i mehaničkog dodira pogonskog i gonjenog vratila. Promena izlaznog momenta i broja obrta vrši se kontinualno i potpuno automatski, zavisno od opterećenja izlaznog vratila. Na slici 8 prikazana je šema, a na slici 9 dijagram rada jednog hidrodinamičkog pretvarača momenta.



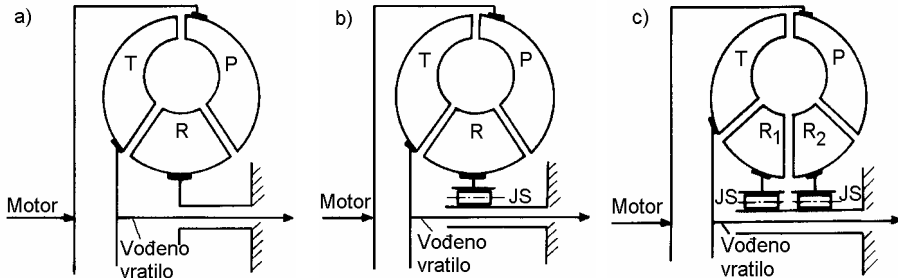
Sl. 8. Principijelna šema hidrodinamičkog pretvarača momenta: P - pumpno radno kolo; T - turbinsko radno kolo; R - reaktorsko kolo

Glavni delovi hidrodinamičkog pretvarača momenta su lopatična radna kola: pumpno, turbinsko i sprovodno ili reaktorsko. Međulopatični prostori radnih kola su postavljeni tako da čine zatvoren sistem - cirkulacioni radni prostor i ima oblik torusa. Iz dijagrama se vidi da je stepen korisnosti promenljiv i njegov maksimum se, kod izvedenih konstrukcija, kreće od 0,8 do 0,9.



Sl. 9. Dijagram rada hidrodinamičkog pretvarača momenta:  $M_1$  - ulazni moment;  $M_2$  - izlazni moment;  $\eta$  - stepen korisnosti

Hidrodinamički pretvarači momenta se mogu svrstati u nekoliko grupa: prosti, sl. 10a, kod kojih je reaktorsko kolo čvrsto vezano za kućište prenosnika; kompleksni, sl. 10b, kod kojih je reaktivno kolo preko jedne spojnice (JS) spojeno sa kućištem i pretvarači sa više reaktorskih kola, sl. 10c.



Sl. 10. Različiti tipovi hidrodinamičkih pretvarača momenta

### PROZRAČNOST HIDRODINAMIČKIH PRETVARAČA MOMENTA

Povećanje opterećenja na vratilu turbine uslovljava smanjenje brzine obrtanja njenog vratila. Brzina dostiže vrednost  $n_t = 0$ , pri maksimalnom obrtnom momentu na vratilu turbine. Kod različitih konstruktivnih rešenja ovo se na poseban način odražava na vratilo pumpnog kola i na opterećenje pogonskog motora.

- Prva grupa hidrodinamičkih pretvarača. Promena momenta na vratilu turbinskog kola nema uticaja na veličinu momenta pumpnog kola i on ostaje konstantan:

$$\frac{\partial M_p}{\partial n_p} = 0$$

Ovi hidrodinamički pretvarači obezbeđuju potpuno nezavisan rad pogonskog motora u odnosu na opterećenje vratila turbine, odnosno radne mašine, i nazivaju se "**neproзраčni**".

- Druga grupa hidrodinamičkih pretvarača. Moment pumpnog kola menja se u zavisnosti od opterećenja turbinskog kola i nazivaju se "**prozračni**". Kod ove grupe pretvarača postoje tri slučaja:

$$\text{I. } \frac{\partial M_p}{\partial n_p} < 0 \rightarrow \text{"direktno prozračan"}$$

$$\text{II. } \frac{\partial M_p}{\partial n_p} > 0 \rightarrow \text{"obrnuto prozračan"}$$

$$\text{III. } \frac{\partial M_p}{\partial n_p} < > \rightarrow \text{"kompleksno prozračan"}$$

Stepen prozračnosti ocenjuje se preko koeficijenta prozračnosti, koji se određuje kao odnos momenta pumpe pri zaustavljenoj turbini ( $n_t=0$ ) prema momentu pumpe jednakom momentu turbine ( $M_p=M_t$ ). Za slučaj "neprozračnog" menjača koeficijent prozračnosti  $p=1$ , za slučaj "prozračnog" menjača sa direktnom prozračnošću  $p>1$ , a za slučaj "obrnuto prozračnog" menjača  $p<1$ .

Za slučaj turbomenjača sa "kompleksnom prozračnošću" koeficijent  $p$  se kreće između vrednosti "neprozračnog" i "prozračnog".



Prozračnost turbomenjača je ustvari njegova sposobnost da savladava promenljive otpore pri kretanju vozila, s tim da promeni režim rada motora (broj obrta) i opterećenja pri istom položaju papučice za "gas". To znači da, ukoliko je veća "prozračnost" turbomenjača utoliko su šire mogućnosti korišćenja režima rada motora pri nepromenjenom položaju papučice za gas. Proizilazi zaključak da se "neprozračni" turbomenjači primenjuju za pogon mašina sa stacionarnim režimom rada, a "prozračni" i "kompleksno prozračni" na mašinama sa širokim opsegom promena otpora i brzine, na motornim vozilima (traktorima).

Prednosti prenosa snage preko hidrodinamičkog pretvarača u odnosu na klasični (mehanički) prenos su sledeće:

- Hidrodinamički pretvarač olakšava upravljanje. Vozilo sa ovim pretvaračem automatski vrši promenu brzine u jednoj oblasti brzina, a promena stepena prenosa je automatska, tako da rukovaoc odabira brzinu kretanja samo preko pedale za gas;

- Olakšano je kočenje vozila, jer nije potrebno isključivati frikcionu spojnicu, dovoljno je pritisnuti pedal kočnice da bi se vozilo zaustavilo, dok motor i dalje radi;

- Hidrodinamički pretvarač momenta održava rad motora dovoljno blisko optimalnom režimu. Pravilnim izborom pretvarača, za određen motor, moguće je postići da motor radi u približno optimalnom radnom režimu, što povoljno utiče na vučne karakteristike, potrošnju goriva i vek motora;

- Hidrodinamički pretvarači vrše blagi - bezudarni prenos snage i prigušuju oscilacije. Ovo omogućuje izbegavanje nepotrebnog predimenzionisanja svih elemenata koji prenose snagu, što smanjuje težinu i cenu vozila i povećava udobnost vožnje;

- Hidrodinamički pretvarač poboljšava vučne karakteristike vozila i radne karakteristike radnih mašina. Vozilo opremljeno sa hidrodinamičkim pretvaračem može u svakom režimu rada da koristi punu snagu motora i imaće bolje radne karakteristike od odgovarajuće mašine sa istom snagom motora ali opremljene klasičnim prenosom. Ispitivanja su pokazala da traktor guseničar sa hidrodinamičkim pretvaračem, pri operaciji planiranja terena na raspolaganju ima do 20% veću snagu od traktora sa mehaničkim prenosom;

- Hidrodinamički pretvarač povećava vek trajanja svih delova koji prenose snagu. Prema podacima firme "Allison" - SAD, hidrodinamički pretvarač momenta povećava vek trajanja motora za 47%, zupčastog prenosa menjača za 400% i diferencijala za 93%;

- Uvođenje hidrodinamičkog prenosa snage ublažuje, a negde i sasvim rešava, problem rezervnih delova, koji je izuzetno važan u mehanizaciji poljoprivrede, građevinarstvu, itd.

Najveći nedostatak hidrodinamičkog pretvarača momenta je niži stepen korisnosti od mehaničkog, ali se to može prihvatiti, s obzirom na njegove ostale prednosti. Usavršavanjem hidrodinamičkih prenosnika postižu se sve veći stepeni korisnosti.

### **ZAJEDNIČKI RAD MOTORA SUS I HIDRODINAMIČKOG PRETVARAČA MOMENTA**

Za usaglašavanje parametara radne mašine sa karakteristikama pogonskog motora SUS značajne pogodnosti pruža primena hidrodinamičkog pretvarača momenta (turbomenjača). Hidrodinamičke pretvarače momenta moguće je primeniti u sprezi sa oto i dizel motorima. Da bi se dobila karakteristika zajedničkog rada motora SUS sa hidrodinamičkim pretvaračem momenta, potrebno je usaglasiti karakteristiku motora SUS sa karakteristikom pumpnog kola. Tačke preseka ovih karakteristika daju karakteristiku zajedničkog rada.

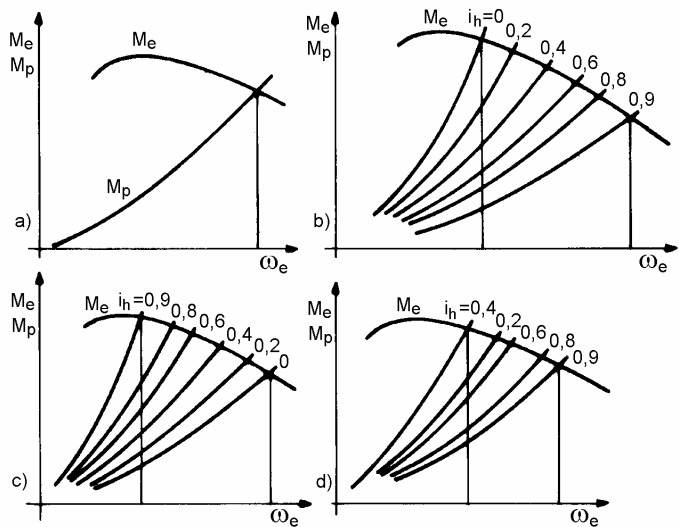
Na slici 11 prikazana je karakteristika motora sa krivama obrtnog momenta pumpnog kola hidrodinamičkog pretvarača momenta. Krive  $M_p$  su prikazane za prenosni odnos  $i_h=0,4$  do  $i_h=0,9$  i određuju zajednički rad motora i kola hidrodinamičkog pretvarača momenta.

Neki tipovi pretvarača momenta imaju osobinu da, promenom broja obrta turbinskog kola, pri stalnom broju obrta kola pumpe, izlazni momenat ostaje isti. Motor SUS koji radi sa ovakvim pretvaračem, radiće u istom režimu bez obzira na opterećenje izlaznog momenta. Režim rada motora u ovom slučaju moguće je menjati samo regulacijom dovoda goriva.

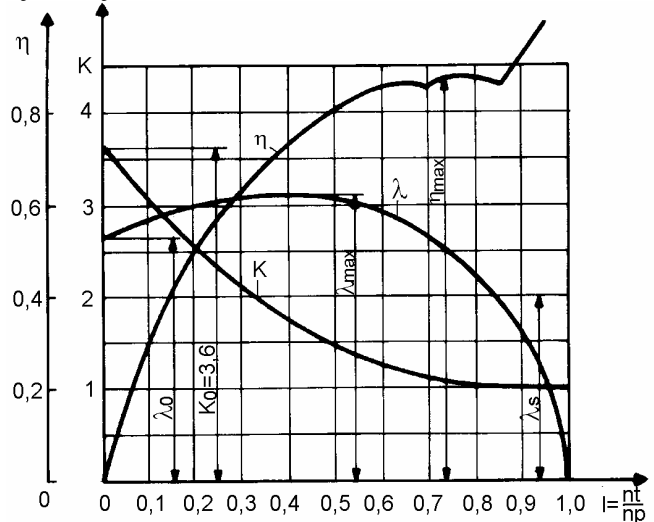
Postoje i tipovi pretvarača kod kojih, pri konstantnom ulaznom broju obrta, izlazni moment zavisi od izlaznog broja obrtaja.

Na slici 12 prikazane su karakteristike rada jednog hidrodinamičkog pretvarača momenta, snimane pri konstantnom ulaznom broju obrtaja  $n_p = \text{const}$ . Na apscisu je nanet odnos broja obrta kola turbine i pumpe,  $i = n_t/n_p$ . Kriva predstavlja odnos izlaznog i ulaznog momenta;  $K = M_t/M_p$  i naziva se koeficijentom transformacije.

Iz dijagrama se vidi da je pri ukočenom izlaznom vratilu ( $i=0$ ) izlazni moment 3,6 puta veći od ulaznog, odnosno  $K_0=3,6$ . Pokretanjem i ubrzavanjem izlaznog vratila, odnosno porastom obrtnog momenta, kontinualno opada i izlazni moment, tako da se negde oko  $i=0,9$  izjednačuje sa ulaznim momentom, kada je  $K=1$ .



Sl. 11. Karakteristike zajedničkog rada turbomenjača i oto motora: a-neproзраčnog; b-proзраčnog sa direktnom proзраčnošću; c-proзраčnog sa obrnutom proзраčnošću; d-kompl. proзраčan



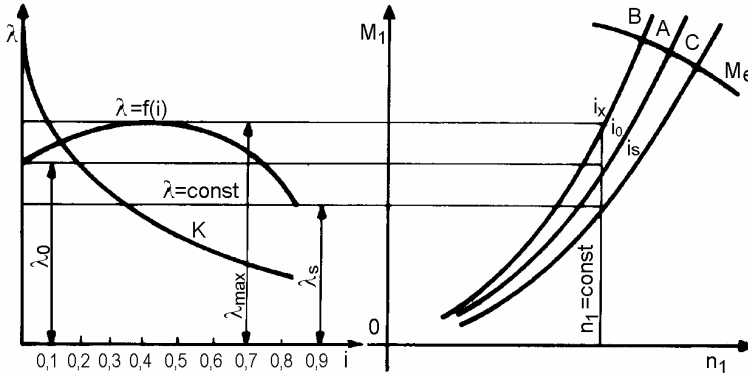
Sl. 12. Karakteristike rada hidrodinamičkog pretvarača momenta

Promena stepena korisnosti  $\eta$  data je u funkciji prenosnog odnosa. Kriva stepena korisnosti polazi od nule, sa porastom prenosnog odnosa stepen korisnosti raste i oko  $i=0,65$  dostiže maksimum. Posle pređenog maksimuma stepen korisnosti opada, a zatim opet raste. Ova pojava je specifična za pretvarače sa pokretnim reaktorima. Kriva  $\lambda$  se naziva faktorom momenta i definisana je izrazom:

$$\lambda = \frac{M}{\rho g n^2 D^2}$$

i menja se u funkciji prenosnog odnosa.

Na slici 13. prikazan je dijagram zajedničkog rada turbomenjača i motora SUS. Na slici po "a" prikazan je dijagram turbomenjača. Neka je ulazni broj obrta  $n_1 = \text{const}$ . Vrednosti faktora momenta iz dijagrama pod "a" prenose se u dijagram pod "b" na vertikalu  $n_1 = \text{const}$ . Pošto je ulazni moment srazmeran kvadratu ulaznog broja obrta, kroz dobijene tačke na vertikalu  $n_1 = \text{const}$  prolaze kvadratne parabole (u dijagramu prikazane samo tri parabole, sve ostale se nalaze između njih). Kroz tačku, koja odgovara faktoru momenta pri  $i=0$ , prolazi startna parabola sa  $i_0$ , kroz tačku koja odgovara maksimalnoj vrednosti faktora momenta parabola, koja se naziva nominalna i obeležena je sa  $i_x$ , a kroz tačku koja odgovara faktoru momenta u trenutku prelaska rada pretvarača na režim spojnice prolazi parabola  $i_s$ . Presečne tačke krive momenta motora  $M_e$  sa parabolama pretvarača su A, B i C.



Sl. 13. Dijagrami zajedničkog rada turbomenjača i motora SUS

Prilikom starta vozila, kada je izlazno vratilo ukočeno, pretvarač će raditi po startnoj paraboli  $i_0$ , a motor će raditi u režimu koji odgovara tački A (presek startne parabole i krive momenta motora). Povećanjem brzine vozila povećava se i faktor momenta od  $\lambda_0$  do  $\lambda_{max}$  i pretvarač postepeno prelazi sa startne parabole  $i_0$  na nominalnu parabolu  $i_x$ , odnosno motor se usporava po luku AB. Daljim porastom prenosnog odnosa, opada faktor momenta, a pretvarač postepeno prelazi od nominalne parabole  $i_x$  do parabole spojnice  $i_s$ , odnosno motor radi po luku BC na krivoj momenta. "Neproзраčni" pretvarač u dijagramu imaće liniju faktora momenta  $\lambda = \text{const}$ . i pri bilo kom prenosnom odnosu u zajedničkom radu pretvarač će raditi samo po jednoj paraboli. Dobijanje krive za "prozračni" pretvarač nešto je komplikovaniji.

Kakva će biti kriva izlaznog momenta zavisi od karakteristika motora. Pozitivne karakteristike "prozračnog" pretvarača biće izraženije sa motorom koji ima krivu momenta većeg nagiba. Koji će pretvarač biti odabran, zavisi od namene vozila, odnosno od karakteristika vuče koje to vozilo treba da ima.

## ZAKLJUČAK

Analiza mogućnosti primene i prednosti koje pružaju hidraulički sistemi prenosa snage za pogonske i radne mašine u poljoprivredi i sličnim oblastima (građevinarstvo, šumarstvo) ukazuje na perspektivnost i savremenost njihove primene. Zbog značajnih prednosti prenosa snage pomoću hidrauličkih sistema veliki broj proizvođača poljoprivrednih mašina u svetu danas primenjuju ova rešenja. Danas je sve veći broj korisnika poljoprivrednih mašina koji su shvatili pogodnosti i prednosti ovih sistema prenosa i traže poljoprivredne mašine sa hidrauličkim prenosom snage.

## LITERATURA

- [1] Crnojević C.: Klasična i uljna hidraulika, II izdanje, Mašinski fakultet, Beograd, 2003.
- [2] Kelić V.: Hidroprenosnici, udžbenik, Naučna knjiga, Beograd, 1999.
- [3] Krishman R.: Electric Motor Drives, Prentice Hall, 1989.
- [4] Krishman R.: Electric motor drives, Prentice Hall, 1998.
- [5] Krsmanović Lj.: Hidrodinamički prenosnici snage, Mašinski fakultet, Beograd, 1989.
- [6] Krstić B.: Hidrodinamički prenosnici snage u agregatima motornih vozila, monografija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2003.
- [7] Oljača M., Raičević D.: Mehanizacija u melioracijama zemljišta, udžbenik, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 1999.
- [8] Prasuhu A.M.: Fundamentals of hydraulic Engineering, Oxford University Press, 1987.
- [9] Repčić N.: Prenosnici snage i kretanja, Mašinski fakultet, Sarajevo, 1999.
- [10] Savić V.: Uljna hidraulika I, udžbenik, izdavač Dom štampe, Zenica, 1985.
- [11] Vučković V.: Električni pogoni, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1997.
- [12] [www.marzocchi.com](http://www.marzocchi.com)
- [13] [www.powercomponents.cnh.com](http://www.powercomponents.cnh.com)

## HYDRAULIC TRANSMISSION SYSTEMS IN AGRICULTURAL TECHNICIS

**Đuro Ercegović, Đukan Vukić, Dragiša Raičević, Mićo Oljača**  
*Faculty of Agriculture - Belgrade*

**Abstract:** Current development of agriculture is being determined with research and implementation of new technologies and modern technical appliances which will be able to provide quality and economically approved application for all technological operations all mentioned, with the least possible consumption of energy and human resource and engagement, as well as to achieve environment preservation, and provide healthy working conditions.

One of the most important matters, from the aspect of usage and market value of agricultural machinery and the others working machines, is the choice of propulsion. Mechanical power transmission does not satisfy newly established conditions for changes in output parameters, or these solutions are becoming too complex and expansive. Therefore, power transmission in agricultural technics is often based on hydraulic transmission systems.

In this work will be presented new solutions for hydrostatical and hydrodynamical power transmission, and applicability analyses of connection between electric motor and internal combustion engine with turbojoints and turbotransmitters.

**Key words:** *hydraulic, power transmission, clutch, konduktor joint, momentum of revolution convertor.*