

PRIOLOG ODREĐIVANJU PARAMETARA HIDROSTATSKOG UPRAVLJANJA

CONTRIBUTION TO DEFINING HYDROSTATIC STEERING PARAMETERS

Dubravka SIMINIATI – Žarko DUBROVIĆ

Sažetak: Hidrostatsko upravljanje široko se primjenjuje na poljoprivrednim i građevinskim strojevima. Prvi i glavni razlog primjene hidrostatskog upravljanja je taj što se zbog uporabe male ulazne sile kod upravljanja rukovatelj može usredotočiti na svoju glavnu zadaću. Osnovnih tipova hidrostatskog upravljanja ima nekoliko, ali varijante osnovnih tipova upravljanja variraju od proizvođača do proizvođača. Za izbor osnovnih komponenta hidrostatskog upravljanja: pumpe, upravljačkog uređaja i cilindra, potrebno je napraviti relativno jednostavan proračun parametara, i to na temelju poznatih tehničkih podataka na vozilu.

Ključne riječi: - hidrostatsko upravljanje
- upravljački uređaj
- parametri upravljanja

Summary: Hydrostatic steering is widely used in agricultural and construction machines. The first and main reason for a hydrostatic steering application is the usage of a small steering input effort; therefore the operator can concentrate on his main task. There are a few main types of hydrostatic steering, but variations on the basic steering types vary from producer to producer. It is necessary to make a relatively simple calculation of the parameters on the basis of the known technical vehicle data, for the choice of the fundamental components of hydrostatic steering: pump, steering unit and cylinder.

Key words: - hydrostatic steering
- steering unit
- steering parameters

1. UVOD

Hidrauličko upravljanje prvenstveno se ugrađuje na poljoprivrednim i građevinskim vozilima te vozilima za unutarnji transport u industrijskim pogonima, avionima i brodovima. Sve su komponente koje čine upravljački sustav hidrauličke: pumpa, ventili, cjevovodi i cilindri (aktuatori). Točan naziv takve vrste upravljanja je *hidrostatsko upravljanje*, a potrebno ga je razlikovati od *hidraulički podržanog upravljanja*, gdje hidraulička snaga služi samo kao pomoć mehaničkom upravljanju.

Mnoštvo je razloga zbog kojih se hidrostatsko upravljanje sve više primjenjuje. Uložena snaga upravljanja vrlo je mala u odnosu na izlaznu snagu. Iz tog razloga čovjek koji upravlja vozilom može se usredotočiti na radne operacije. Zbog uporabe visokih tlakova radne tekućine komponente su relativno malih dimenzija i masa. Velika je sloboda u slaganju komponenata, što čini bitnu prednost u odnosu na mehanički tip upravljanja. Takav je sustav zaštićen od preopterećenja, a upravljanje je lako i mirno.

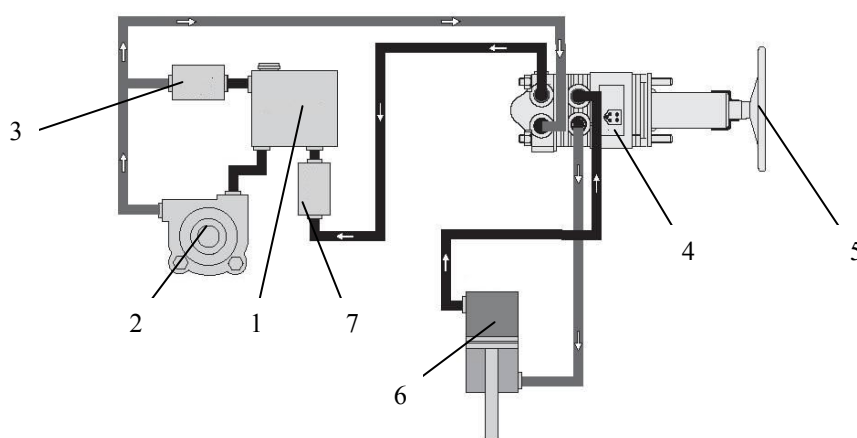
1. INTRODUCTION

Hydraulic steering primarily is embedded on agricultural and construction machines, then on vehicles for internal transport in industrial plants, aircraft and ships. All components that make up the steering system are hydraulic: pump, valves, pipes and cylinders (actuators). The precise name of such steering is *hydrostatic steering* and it has to be distinguished from *hydraulically assisted steering*, where hydraulic power serves only to assist a mechanical steering system.

There are plenty of reasons why hydrostatic steering is much more commonly used. The input steering effort is very small in relation to the output power. For that reason, the operator can concentrate on working operations. Due to high working fluid pressures, the components are of relatively small dimensions and mass. There is great freedom in setting components, and this is the essential advantage to mechanical steering. The system is overload protected, and steering is smooth and quiet in operation.

2. KOMPONENTE HIDROSTATSKOG UPRAVLJANJA

Osnovne komponente hidrostatskog upravljanja prikazane su na Slici 1. [1]. Sustav započinje pumpom (2), koja je najčešće pogonjena dizelskim motorom. Ona može biti zajednička za hidrostatsko upravljanje i radnu hidrauliku vozila ili može biti isključivo namijenjena za sustav upravljanja. Da bi se sustav zaštitio od preoterećenja, u tlačni vod pumpe ili u samoj pumpi treba biti ugrađen ventil za ograničenje tlaka (3). U svakom slučaju, kod bilo kakva ekscesnog povećanja tlaka pumpe, ventil se otvara i propušta radnu tekućinu u spremnik (1). Upravljački uređaj (4) prenosi funkcije upravljačkog kola (5) na kotače.



Slika 1. Tipični upravljački krug [1]
Figure 1. Typical steering circuit [1]

Hidrauličkom vezom upravljački uređaj prenosi energiju na hidraulički cilindar (6), koji je mehanički vezan na kotače. Cilindar ima identičnu funkciju kao mehaničke spone kod tradicionalnoga mehaničkog upravljanja. Vrlo važan element za ispravno i nesmetano funkcioniranje hidrostatskog sustava upravljanja je filter radne tekućine (7).

2.1 Upravljački uređaj

Upravljački uređaj je „srce“ hidrauličkog sustava upravljanja. Sastavljen je od razvodnog i dobavnog dijela, koji su hidraulički i mehanički povezani, a prikazani su na Slici 2. [2].

Razvodnik je sastavljen od mehanički upravljanog razvodnog elementa. Radna tekućina se iz razvodnika uvodi ili odvodi u dobavni sklop, iz kojeg se opet preko razvodnika odvodi u cilindar ili iz cilindra.

Dobavni sklop sastavljen je od mehanički spojenih kardanskog vratila i pogonskog zupčanika s vanjskim ozubljenjem cikloidnog profila. Pogonski je zupčanik u zahvatu sa statorom koji je izveden s unutarnjim cikloidnim ozubljenjem (najčešće se takav sklop naziva

2. HYDROSTATIC STEERING COMPONENTS

The basic components of hydrostatic steering are shown in Figure 1. [1]. The system begins with a pump (2), which is mostly driven by a diesel engine. The pump can be used for both hydrostatic steering and working hydraulics of the machine, or it can be solely intended for the steering system. For system overload protection, the relief valve (3) is embedded in the pressure pipe or it is built into the pump. Anyway, at any excessive pump pressure increase, the relief valve opens and the working fluid drains into the reservoir (1). The steering unit (4) transmits the steering function from the steering wheel (5) to actual movement of the steered wheels.

The steering unit transmits energy by hydraulic connection to the hydraulic cylinder (6), which is mechanically bound to the wheels. The cylinder has a function identical to the mechanical links in traditional mechanical steering. A very important element for the proper and untroubled operation of the hydrostatic steering system is the working fluid filter (7).

2.1 Steering unit

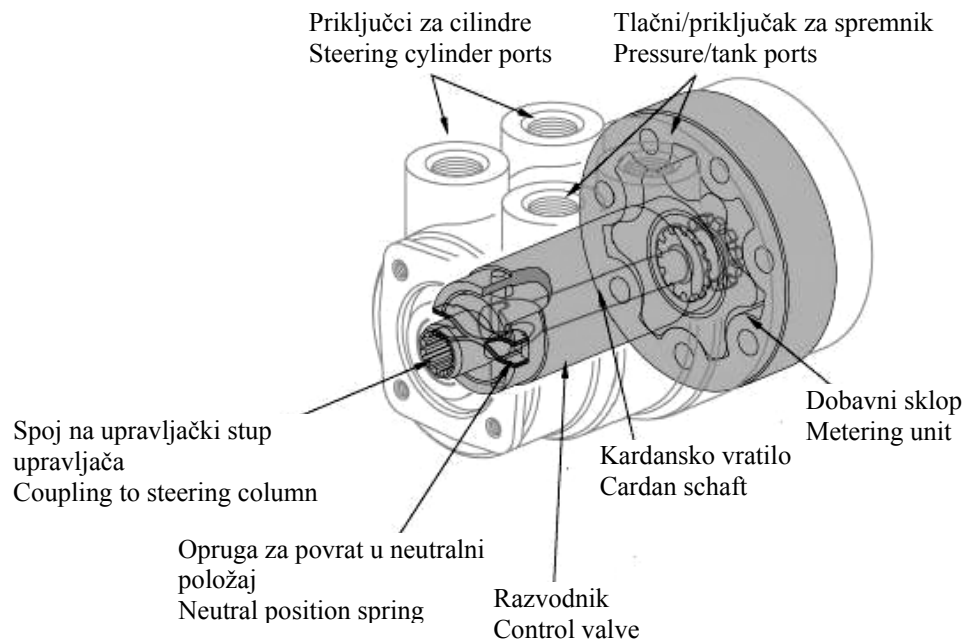
The steering unit is the “heart” of the hydraulic steering system. It consists of a directional control valve and a metering section that are shown in Figure 2. [2].

The *Directional control valve* contains a mechanically actuated spool. Working fluid is directed to or from the metering section, and then through control valve, to or from the cylinder.

The *Metering section* consists of a mechanically connected cardan shaft and rotor (gear with external cycloid teeth). The rotor grips the stator, which has internal cycloid teeth (the generally used name for such arrangement is gerotor). This unit is a direct connection between the steering wheel and the steered wheels of the

gerotor). Taj je sklop izravna veza između upravljača i upravljanih kotača vozila. U slučaju da je dobavna pumpa izvan funkcije, dobavni se sklop pretvara u ručnu pumpu, čime se prelazi na ručno upravljanje vozilom.

vehicle. In the event of an inoperative engine driven pump, the metering section takes over the role of the manually operated pump, and steering shifts to manual steering.



Slika 2. Upravljačka uređaj [2]
Figure 2. Steering unit [2]

3. PRINCIP UPRAVLJANJA

U neutralnom položaju razvodnika radna tekućina iz pumpe protječe kroz razvodnik izravno u spremnik kako je to prikazano u shemi na Slici 3a. Tlak pumpe je minimalan, dovoljan samo da pokrije gubitke strujanja. Da bi se vozilom upravljalo uz pomoć hidrostatskog upravljanja, vozač mora zarotirati upravljač u smjeru željenog smjera upravljanja. Pri tome započinju rotirati i kardansko vratilo i s njim spregnut klip razvodnika. Radna tekućina odvodi se na odgovarajući priključak cilindra onim tlakom kojim će se savladati otpori upravljanja. Kako kardansko vratilo rotira relativno u odnosu na razvodnik, opruga za povrat u neutralni položaj zbog toga se napinje. Aksijalni pomak klipa razvodnika izaziva kuglica, koja je smještena u njemu i fiksirana u spiralnom žlijebu kardanskog vratila.

Aksijalnim pomicanjem klipa razvodnika u kućištu odgovarajući se kanali povezuju s dotokom radne tekućine iz pumpe pa na usisnu stranu dobavnog sklopa. Izlaz iz dobavnog sklopa povezan je s priključkom na cilindar, dok je drugi priključak cilindra spojen sa spremnikom. Kolika će se količina radne tekućine odvoditi u cilindar preko dobavnog sklopa, ovisi o brzini upravljanja.

U slučaju prestanka rada pumpe, rukovatelj treba uporabiti ručnu silu za pomicanje klipa razvodnika. Kada se klip pomakne u tijelu razvodnika, određeni se kanali spoje s dobavnim sklopom, koji sada djeluje kao pumpa

3. STEERING OPERATION

When the spool is in the neutral position, the working fluid circulates from the pump through the directional control valve directly to the reservoir, as shown in Figure 3a. Pump pressure is sufficient only to overcome friction losses. In order to accomplish a power steering manoeuvre, the operator has to rotate the steering wheel in the direction of the steering manoeuvre. The cardan shaft and mechanically linked spool begin to move simultaneously. Working fluid circulates to a specific cylinder port with pressure, enough to overcome steering forces. As the cardan shaft rotates relatively to the spool, the neutral position spring is deflected. An axial shift of the spool is induced by the ball which is set up in a helical groove of the shaft.

When the spool axially shifts in the body, the appropriate channels are connected with pressure fluid from the pump, and then to the suction side of the metering section. The outlet from the metering section is connected with the cylinder port and another cylinder port with the reservoir. Which portion of the working fluid would be directed to the cylinder depends on the steering input speed.

In the case of the pump in operation, the operator has to use a manual effort to displace the spool axially. When the spool is displaced in the body, specific fluid channels are connected with the metering section, which is now acting as a pump. The return flow from the other side of

pri čemu radna tekućina struji u određenu stranu cilindra. Radna tekućina sa suprotne strane cilindra struji preko jednoga nepovratnog ventila, na usisnu stranu dobavnog sklopa umjesto natrag u spremnik. Nepovratni ventil nalazi se između povratnog voda (T) i tlačnog voda pumpe (P), što je vidljivo na Slici 3.

Osnovne izvedbe hidrostatskog upravljanja su:

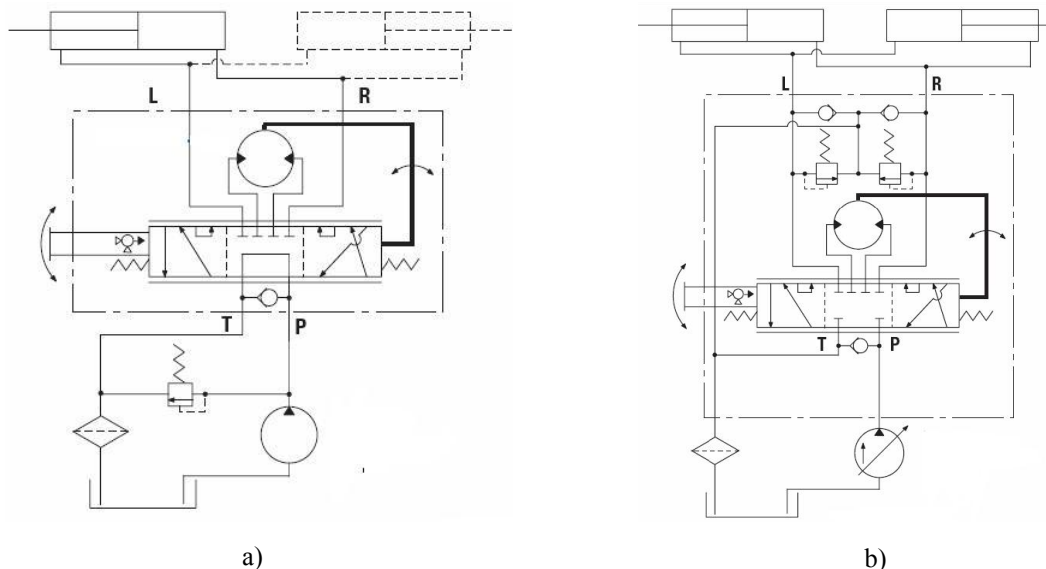
- ◆ s otvorenim centrom
- ◆ sa zatvorenim centrom.

the cylinder runs through the ball check valve, to the suction part of the metering section instead of back to the reservoir.

The check valve is placed between the return pipe (T) and pump pressure pipe (P), as can be seen on Figure 3.

The main types of hydrostatic steering are:

- ◆ open centre
- ◆ closed centre.



Slika 3. Shema hidrauličkog upravljanja: a) otvoreni centar, b) zatvoreni centar [2]
Figure 3. Scheme of hydraulic steering: a) open centre, b) closed centre [2]

Svaki se od tih dvaju tipova upravljanja dijeli dalje na izvedbe sa ili bez *Load sensing* te sa ili bez povratne sprege.

3.1 Otvoreni centar

Otvoreni je centar najjednostavniji i najekonomičniji način hidrauličkog upravljanja. Za njegov je rad potrebna pumpa konstantnog protoka. Način rada opisan je u uvodu ovog poglavlja i prikazan shemom na Slici 3a.

Posebna izvedba je s otvorenim centrom i s dodatnim priključkom (PB), kako je to prikazano na Slici 4. Preko priključka (PB) pumpa šalje radnu tekućinu u neki dodatni hidraulički sustav na vozilu. Potrebno je naglasiti da u slučaju istodobnog rada obaju uređaja prednost uvijek ima hidrostatsko upravljanje.

3.2 Zatvoreni centar

Ovakav se način hidrauličkog upravljanja koristi za velike sustave. U upravljački sustav ugrađuje se regulirajuća pumpa tlačno kompenzirana. Priključak za pumpu blokiran je u neutralnom položaju razvodnika (Slika 3b.).

Each of these types of hydrostatic steering is available with a large number of possible options: Load sensing or non-Load sensing, and Load Reaction or non-Load reaction.

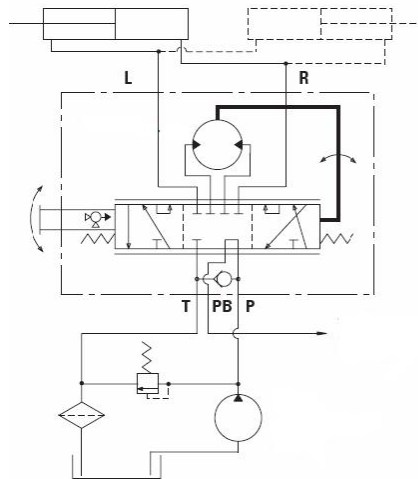
3.1 Open centre

The open centre steering system is the most simple and the most economical type of hydraulic steering. It requires a pump with constant flow. The working operation is described in the introduction of this chapter, and is shown in Figure 3a.

The specific performance of open centre steering with an additional port (PB) is shown in the Figure 4. Via port (PB), the pump transmits the working fluid into an auxiliary hydraulic system. It is necessary to note that in the case of the simultaneous operation of the two systems, priority always goes to the hydrostatic steering.

3.2 Closed centre

Closed centre hydrostatic steering is used for large construction equipment. A pressure compensated variable displacement pump is used in this system. The steering unit is closed in the centre, stopping the flow from the pump. (Figure 3b.).



Slika 4. Otvoreni centar s dodatnim priključkom [2]
Figure 4. Open centre power extension [2]

3.3 Upravljanje s povratnom spregom

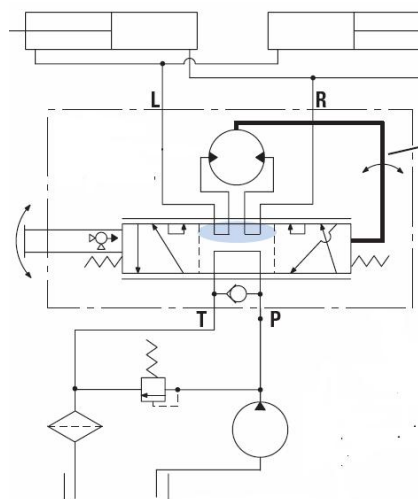
Ako je izvedba razvodnika takva da se opterećenje na upravljanim kotačima prenosi u obliku reakcije na upravljačko kolo, tada se govori o upravljanju s povratnom spregom. U tom slučaju, u neutralnom položaju razvodnika, cilindri su spojeni s dobavnim sklopom, kako je to prikazano na Slici 5. To svojstvo dopušta da se upravljač vrati u položaj za vožnju ravno nakon što ga je operater otpustio.

U takvu upravljačkom sustavu cilindri moraju imati jednake volumene obiju komora, što znači da je potreban ili jedan cilindar s prolaznom klipnjačom ili dva diferencijalna cilindra križno spojena.

3.3 Load reaction steering

If the directional control valve allows external forces on the wheel to transfer as a reaction to the steering wheel, then we have hydrostatic steering with load reaction. In that case, in the neutral position of the directional control valve, the cylinder is connected with the metering section, as Figure 5. shows. This feature allows the steering wheel to return to the straight ahead position after the operator releases the steering wheel.

This type of hydrostatic steering requires equal volumes of the opposing cylinder chambers. That means one balanced cylinder or two differential cross-connected cylinders have to be built in.



Slika 5. Shema hidrauličkog upravljanja s povratnom spregom [2]
Figure 5. Scheme of hydraulic steering with load reaction [2]

3.4 Load sensing upravljanje

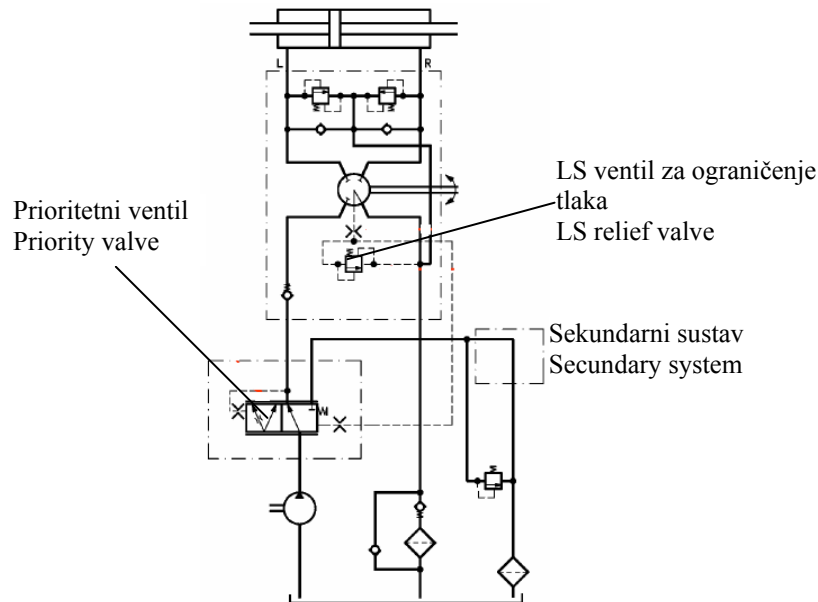
U vremenu sve većeg značenja koje se daje projektima koji nude uštedu energije, *Load sensing* sustavi hidrostatskog upravljanja također se sve više razvijaju. Sam izraz *Load sensing* znači da je raspodjela snage uvjetovana stalnom kontrolom opterećenja. Proizvođači komponentni hidrostatskog upravljanja nude rješenja kako za otvoreni centar tako i za zatvoreni centar. Isto tako ulaganja u takvu vrstu upravljanja imaju opravdanje kod sustava s velikom potrošnjom snage. Na Slici 6. prikazan je *Load sensing* sustav s dijelovima koji su karakteristični za takav oblik hidrauličkog upravljanja.

Uporaba *Load sensing* sustava u kombinaciji s prioritetnim ventilom omogućava podjelu sustava u dva neovisna cirkulacijska kruga. Prioritetni ventil je velika sigurnost u radu hidrostatskog upravljanja jer je njegova osnovna uloga kontrola prioriteta hidrostatskom upravljanju.

3.4 Load sensing steering

In the era of increasing account given to projects that offer energy savings, load sensing hydrostatic steering is progressively developing, as well. The meaning of the term “*Load sensing*” is that energy distribution is brought about by constant overload. Hydrostatic components producers offer solutions for open and closed centres and for with or without load reactions, too. Investment in such kinds of steering has applications for systems with great power consumption. Figure 6. shows the *Load sensing* system with parts that are specific for that kind of steering.

The *Load sensing* system usage in combination with the priority valve enables system distribution in two independent cycles. The priority valve is a great protection in steering system operation, as the steering system always has priority.



Slika 6. Load sensing sustav upravljanja [2]

Figure 6. Load sensing steering system [2]

4. PARAMETRI ZA IZBOR KOMPONENATA HIDROSTATSKOG UPRAVLJANJA

Za izbor komponenata hidrauličkog upravljanja početak je proračuna svakako „radni stroj“ kojega pokreće sustav, a to je kotač (Slika 7.). Stoga je potrebno poznavati dvije osnovne veličine u mehaničkoj vezi kotača i upravljane osovine: krak rukavca kotača e i širinu kotača B . Uz poznavanje koeficijenta trenja između podloge i kotača te dijela težine vozila G_S , koja opterećuje upravljane osovinu, određuje se ukupni moment na rukavcu, prema izrazu [1]:

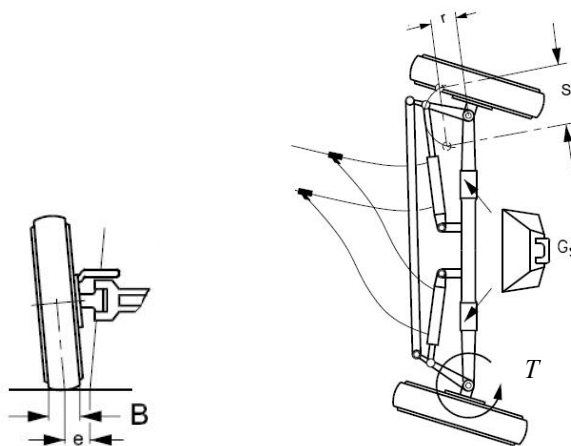
4. PARAMETERS FOR HYDROSTATIC STEERING COMPONENTS CHOICE

The beginning of hydrostatic steering component selection starts with the “Working machine”, and that is the steered wheel (Figure 7.). Because of that, we have to know the two basic parameters in the mechanical connection between the wheel and the steered shaft: the kingpin eccentric e and the tire breadth B . When the coefficient of friction between the ground and the tire is known, and the vehicle weight supported by the steered axle G_S , then the total torque on the kingpin is estimated according to the term [1]:

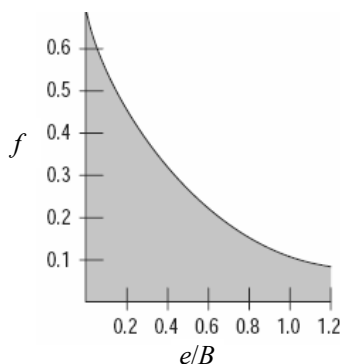
$$T = G_S f \sqrt{\frac{B^2}{8} + e^2} . \tag{1}$$

Za određivanje koeficijenta trenja potrebno je poznavati omjer e/B . Tada se na temelju dijagrama na Slici 8. [1] očitava vrijednost koeficijenta trenja između gumenog kotača i suhe betonske podloge.

For determining the coefficient of friction, the ratio e/B has to be known. Using the chart from Figure 8. [1], the value of the coefficient of friction between the rubber tire and dry concrete f can be estimated.



Slika 7. Dimenzije na kotaču [3]
Figure 7. Measures on tire [3]



Slika 8. Ovisnost koeficijenta trenja o omjeru e/B [1]
Figure 8. Coefficient of friction in dependence on ratio e/B [1]

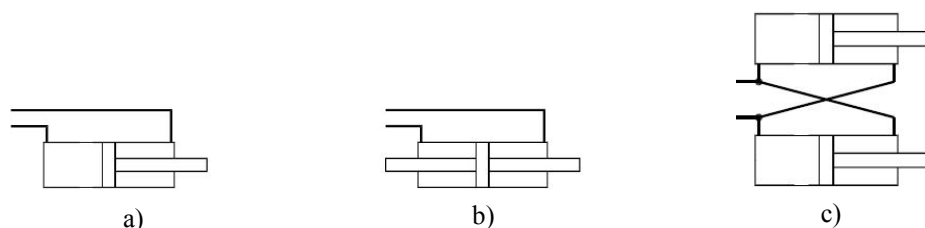
Klip upravljačkog cilindra proizvest će maksimalnu silu, u momentu kada je krak poluge, koja spaja rukavac i klipnjaču, najmanji [3]:

The cylinder piston will produce maximum force when the effective radius arm, which connects kingpin and cylinder rod, is the least [3]:

$$F_{\max} = \frac{T}{r_{\min}} . \tag{2}$$

Izborom pumpe i odlukom koji maksimalni tlak može ona dati, te uzimajući u obzir gubitke do cilindra, koji se kreću do 20%, moguće je odrediti potrebne dimenzije upravljačkog cilindra. Na Slici 9. prikazane su tri moguće varijante cilindra koje se koriste u sustavima upravljanja.

By knowing the pump and with a decision about its maximum pressure, and taking into account the losses from the pump to the cylinder, which are up to 20 %, the dimension of the cylinder can be provided. Figure 9. shows three possible variants of the cylinder that the steering system uses.



Slika 9. Cilindri: a) diferencijalni, b) s prolaznom klipnjačom, c) dva diferencijalna križno spojena [3]
 Figure 9. Cylinders: a) differential, b) balanced, c) two differential cylinders cross connected [3]

Kod diferencijalnog cilindra maksimalna će sila biti kada maksimalni tlak djeluje na veću površinu klipa [3]:

Maximum force at differential cylinders will be when the maximum pressure acts on the greater piston area [3]:

$$F_{\max} = \frac{D^2 \pi}{4} p. \quad (3a)$$

Na cilindru s prolaznom klipnjačom maksimalna će sila biti prema:

Maximum force at the balanced cylinder will be towards:

$$F_{\max} = \frac{(D^2 - d^2) \pi}{4} p. \quad (3b)$$

Ako su upravljački diferencijalni cilindri spojeni križno, tada će maksimalna sila upravljanja biti:

If differential cylinders are cross connected, then the maximum force will be:

$$F_{\max} = \frac{(2D^2 - d^2) \pi}{4} p. \quad (3c)$$

Temeljem izraza od (3a) do (3c) odrede se potrebne dimenzije cilindara. Uz poznatu geometriju polužja, koje spaja kotače i klipnjaču cilindra, te poznati kut zakretanja kotača od krajnjega lijevog u krajnji desni položaj, moguće je odrediti ukupni potreban hod klipnjače. Uz pomoć površine u cilindrima na koje djeluje tlak radne tekućine te hoda klipa, dobije se potrebni volumen radne tekućine:

Towards terms (3a) to (3c), the required dimensions of the cylinder can be defined. Knowing the geometry of the arm that connects the wheel and the cylinder rod, and the rotation angle from the full left lock to the full right lock position, it is possible to define piston stroke. Now, when we know the required cylinder area, on which the working fluid pressure acts, then the acquired swept volume is:

$$V = A s. \quad (4)$$

Da bi se odredio kapacitet upravljačkog uređaja, potrebno je znati koliki je ukupni broj okretaja volana od krajnjega lijevog do krajnjega desnog položaja. Obično je ta vrijednost od 3 do 5 [3]. Minimalno potrebni kapacitet upravljačke jedinice je tada:

To get the steering unit displacement, it is necessary to know the number of steering wheel turns from lock to lock position. That is usually from 3 to up to 5 [3]. The minimum required displacement of the steering unit is then:

$$V_v = \frac{V}{i}. \quad (5)$$

Isto tako potrebno je znati koliko okretaja upravljača vozač može postići u vremenskoj jedinici: minimalno je to 1 okr/s (60 okr/min), najčešće je to 1,5 okr/s (90 okr/min), dok se za prosječnu osobu uzima da je to 2 okr/s (120 okr/min) [1]. Taj je podatak dovoljan da se

It is necessary to know the maximum required steering speed that the driver can obtain: the minimum is 1 turn/s (60 rpm), and the most frequent is 1,5 turns/s (90 rpm), while for the average person it is 2 turns/s (120 rpm) [1]. That information is enough to estimate the required pump

odredi protok koji pumpa mora dati da bi se udovoljilo postavljenim uvjetima upravljanja:

$$Q_p = V_v n_v \quad (6)$$

4.1 Numerički primjer

Na upravljanu osovinu traktora djeluje težina $G_S = 80000$ N, krak rukavca je $e = 100$ mm, a širina kotača je $B = 200$ mm. Minimalni krak spojne poluge kotača i cilindra je $r_{\min} = 100$ mm. Iz dijagrama (Slika 8.) za omjer $e/B = 0,5$ koeficijent trenja trenja je $0,25$. Prema izrazu (1) potrebni moment na upravljanjoj osovini je:

$$T = G_S f \sqrt{\frac{B^2}{8} + e^2} = 80000 \cdot 0,25 \cdot \sqrt{\frac{0,2^2}{8} + 0,1^2}$$

$$T = 2450 \text{ Nm.}$$

Prema izrazu (2) maksimalno potrebna sila koju mora proizvesti klip cilindra je:

$$F_{\max} = \frac{T}{r_{\min}} = \frac{2450}{0,1} = 24500 \text{ N.}$$

S obzirom na veličinu sile procjena je da će za upravljanje biti potreban jedan diferencijalni cilindar. Iz izraza (3a), a uz pretpostavku da je maksimalni radni tlak $p = 160$ bar, potrebni promjer klipa cilindra je:

$$D \geq \sqrt{\frac{4 F_{\max}}{\pi p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 24500}{\pi \cdot 160 \cdot 10^5}} = 0,044 \text{ m}$$

Prema tome minimalni promjer diferencijalnog cilindra je $D = 44$ mm, te ga je potrebno odabrati iz kataloga proizvođača. Izbor većeg promjera od proračunatog, znači nešto manji tlak, kojega mora osigurati upravljački uređaj.

Ako se analizom geometrije upravljanje osovine utvrdilo da je potreban hod klipa cilindra $s = 200$ mm, tada je potrebni volumen radne tekućine za hod klipa od krajnjega lijevog do krajnjega desnog položaja prema izrazu (4) jednak:

$$V = A s = \frac{D^2 \pi}{4} s = \frac{4,4^2 \cdot \pi}{4} \cdot 20 = 304 \text{ cm}^3$$

Kapacitet upravljačke jedinice, uz pretpostavljeni $i = 4$, prema izrazu (5) jest:

$$V_v = \frac{V}{i} = \frac{304}{4} = 76 \text{ cm}^3/\text{okr},$$

uz potrebnu ulaznu brzinu upravljanja $n_v = 90$ okr/min, a prema izrazu (6), pumpa bi morala osiguravati protok:

$$Q_p = V_v n_v = 76 \cdot 10^{-3} \cdot 90 = 6,84 \text{ l/min.}$$

5. ZAKLJUČAK

Cilj je ovoga rada bio dati sažeti pregled osnovnih tipova hidrostatskog upravljanja, kakvi se uglavnom koriste na poljoprivrednim i građevinskim strojevima. Definirane su

flow to satisfy the given steering conditions:

4.1 Numerical example

Vehicle weight supported by the steered axle is $G_S = 80000$ N, kingpin eccentric is $e = 100$ mm, and the tire breadth is $B = 200$ mm. The minimum effective arm radius is $r_{\min} = 100$ mm. From the chart (Figure 8.) for the ratio $e/B = 0,5$, the coefficient of friction is $0,25$. Toward the term (1), the required torque on the steered axle is:

$$T = G_S f \sqrt{\frac{B^2}{8} + e^2} = 80000 \cdot 0,25 \cdot \sqrt{\frac{0,2^2}{8} + 0,1^2}$$

$$T = 2450 \text{ Nm.}$$

Toward the term (2) maximum force, that the piston has to produce is:

$$F_{\max} = \frac{T}{r_{\min}} = \frac{2450}{0,1} = 24500 \text{ N.}$$

Whereas with regard to force magnitude, the judgement is that one differential is required. From term (3a), and assuming that the maximum working pressure is $p = 160$ bar, the required piston diameter is:

$$D \geq \sqrt{\frac{4 F_{\max}}{\pi p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 24500}{\pi \cdot 160 \cdot 10^5}} = 0,044 \text{ m.}$$

Consequently, the minimum diameter of the differential cylinder is $D = 44$, so we must choose it from the producer catalogue. The choice of a greater piston diameter that estimated is, means a slightly lower pressure that the steering unit has to ensure.

If, according to the analysis of the geometry of the steered axle, the required piston stroke is $s = 200$ mm, then the required swept volume of the working fluid from lock to lock position according to term (4) is:

$$V = A s = \frac{D^2 \pi}{4} s = \frac{4,4^2 \cdot \pi}{4} \cdot 20 = 304 \text{ cm}^3.$$

The steering unit displacement, with supposed $i = 4$, according to term (5) is:

$$V_v = \frac{V}{i} = \frac{304}{4} = 76 \text{ cm}^3/\text{rev},$$

and for the required steering speed $n_v = 90$ rev/min, and in accordance with the term (6), the pump has to ensure the flow:

$$Q_p = V_v n_v = 76 \cdot 10^{-3} \cdot 90 = 6,84 \text{ l/min.}$$

5. CONCLUSION

The aim of this article is to give an overview of the basic types of hydrostatic steering used mainly in agricultural and construction machines. The main components are

osnovne komponente sustava s namjerom da se uz proračun parametara upravljanja mogu iz proizvodnog programa poznatih proizvođača odabrati odgovarajuće komponente. Za pojedine vrste vozila standardima su definirane granice veličina kao što su: broj okretaja upravljača i brzina upravljanja, što nije obuhvaćeno ovim radom. Ovaj je rad pokušaj da se daju jednostavne smjernice za izbor komponenata hidrostatskog upravljanja u fazi projektiranja ili eventualne zamjene dotrajale opreme.

6. POPIS OZNAKA

Površina cilindra	A	cm ²
Širina kotača	B	m
Promjer klipnjače	d	cm
Promjer klipa	D	cm
Krak rukavca	e	m
Koeficijent trenja	f	-
Maksimalna sila upravljanja	F_{\max}	N
Težina vozila na upr. osovini	G_S	N
Broj okretaja upravljača	i	-
Brzina vrtnje upravljača	n_v	okr/min
Protok pumpe	Q_p	l/min
Minimalni polumjer poluge	r_{\min}	m
Hod klipa	s	cm
Moment na upravljanju osovini	T	Nm
Ukupni volumen cilindra	V	cm ³
Kapacitet upravljačke jedinice	V_v	cm ³ /okr

LITERATURA REFERENCES

- [1] http://pirate4x4.com/tech/billavista/PR-Hydro_Steering/index2.html
 [2] John R. Savage, *Hydrostatic Steering Systems*, National Fluid Power Center, Issue 04/05, UK, 2005.

Primljeno / Received: 30.2.2008

Pregledni članak

Adresa autora / Authors' address:
 Assoc. prof. dr. sc. Dubravka Siminiati, dipl. ing.
 Žarko Dubrović, dipl. ing.
 Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci
 Vukovarska 58
 51000 Rijeka
 HRVATSKA
 dubravka.siminiati@riteh.hr

defined with the purpose that by using steering parameter calculations one can choose appropriate components from a manufacturers production programme. The limits for the number of steering wheel rotations and steering input speed are defined with the standards for the single vehicle category, and that is not the scope of this article. This article is an attempt to give simple guidelines for the choice of hydrostatic steering components in the phase of the project or contingent substitution of expended equipment.

6. LIST OF SYMBOLS

Cylinder area
Tire breadth
Piston diameter
Rod diameter
Kingpin eccentric
Coefficient of friction
Maximum steering force
Vehicle weight supported by the steered axle
Number of wheel rotation
Steering speed
Pump flow
Minimum effective arm radius
Piston stroke
Torque on the steered axle
Cylinder swept volume
Steering unit displacement

- [3] Sauer Danfoss Company, General Steering components, 10/2002.

Prihvaćeno / Accepted: 20.6.2008

Subject review