

**PROJEKTOVANJE HIDRAULIČNOG SISTEMA INDUSTRIJSKIH KOČNICA VITLA
DESIGNING THE HYDRAULIC SYSTEM OF INDUSTRIAL WINCH BRAKES**Boris Timko, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MEHATRONIKA**

Kratak sadržaj – U ovom radu je obrađena primena hidraulike na kočnice vitla. Na osnovu principa rada isprojektovan je hidraulični sistem koji zadovoljava sve njene zahteve.

Ključne reči: Zbornik FTN, Studentski radovi, hidraulični sistemi, kočnice vitla

Abstract – In this paper we went through analyse and design of hydraulic system applied on industrial disc brakes.

Keywords: Proceedings of the FTS, Student papers, hydraulic systems, industrial disc brakes

1. UVOD

U današnje vreme, globalizacija, internet i stalna želja za ekonomskim rastom izazvala je veliki rast transporta robe i postalo je izuzetno važno prebaciti određenu robu s jednog mesta na drugo u što kraćem vremenu. Transport robe ne znači samo prevoz sa jednog mesta na drugo nego i njen utovar i istovar.

Zbog smanjenja vremena utovara i istovara, pogotovo velikih količina, ljudi su uvideli potrebu za određenim standardom pakovanja što je kroz istorijski razvoj dovelo da danas jako poznatih ISO kontejnera. Njihov broj svakodnevno raste i procenjuje se da je njihov broj par desetina miliona na svetu.

Tako veliki broj je povukao ravoju luka, brodova i opreme za njihovo rukovanje. Iz sigurnosnih razloga na kranovima mora biti instaliran sistem kočenja. Takvi sistemi moraju biti jako pouzdani jer ako i oni otkazu posledice su jako velike u materijalnom smislu.



Slika 1. Sistem kočenja vitla

NAPOMENA:

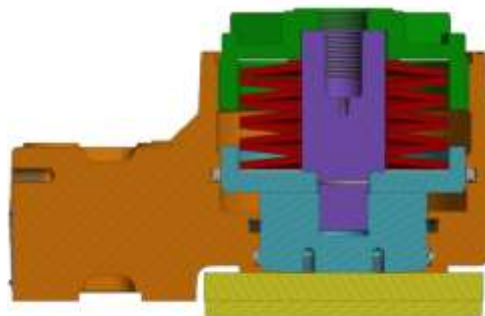
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Mitar Jocanović, vanr. prof.

2. KONSTRUKCIJA KOČNICA VITLA

Svi sigurnosni sistemi teže da budu što jednostavniji kako bi bilo što manje mesta gde sistem može zakazati. Konstrukcija mora biti što robusnija a upravljački sistem što jednostavniji a pritom jako dobro isprojektovan kako bi zadovoljio sve potrebe sistema. Konstrukcija kočnica je uglavnom jako prosta kako bi se obezbedila što veća pouzdanost.

Glavni delovi kočnice su:

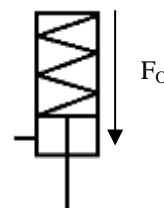
- Telo kočnice koji je uglavnom odlivak legure čelika
- Opruge kao generator sile kočenja. Sile koje generišu opruge su uglavnom jako velike pa je upotreba hidraulike za njeno savladavanje neophodna. Hidraulični cilindar zbog svoje proste konstrukcije može lako da se integriše u kočnicu a svojim karakteristikama može da se odupre velikim silama na opruzi.
- Klip koji služi za sabijanje opruge
- Kočione obloge koje silom trenja zaustavljaju disk.



Slika 2. Konstrukcija kočnice

3. PRINCIP RADA

Svi kočioni sistemi na kranovima uglavnom rade na principu kočenja pomoću opruge a rasterećuju se pomoću hidrauličnog cilindra. Kočnica je svojom konstrukcijom zapravo kao cilindar jednosmernog dejstva sa oprugom za izvlačenje. Od sile opruge direktno zavisi i sila kočenja.

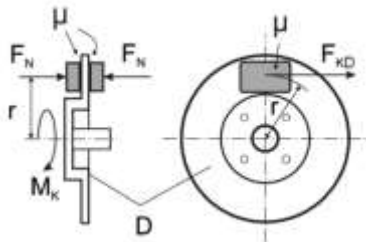


Slika 3. Princip rada kočnice

Opruge generišu silu F_0 koja se prenosi preko kočionih obloga na disk i pravi silu stezanja $F_N = 2 \times F_0$.

U zavisnosti od koeficijenta trenja μ dobijamo silu kočenja $F_{KD} = F_N \times \mu$.

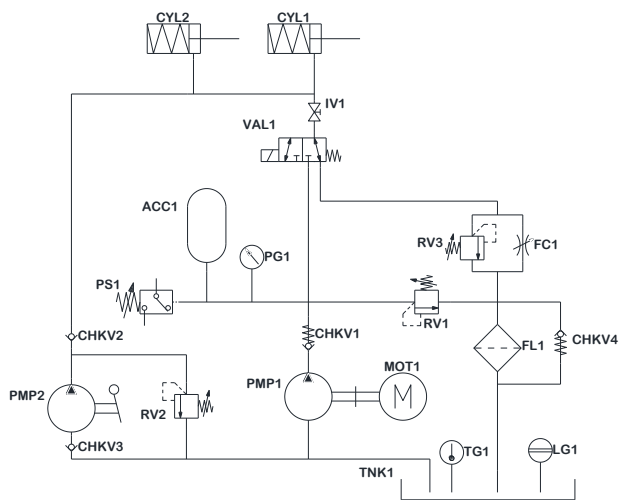
U zavisnosti od prečnika diska r dobijamo moment kočenja $M_K = F_{KD} \times r$.



Slika 4. Sile koje deluju na disk

4. HIDRAULIČNI SISTEM

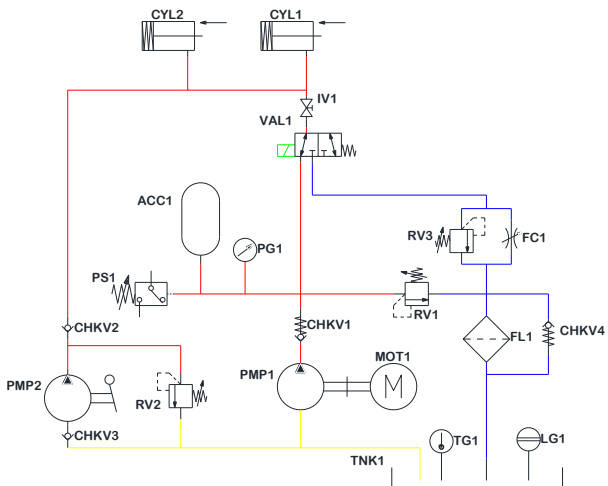
Da bi se projektovao hidraulični sistem potrebno je dobro sagledati zahteve koji se od njega zahtevaju. Prilikom definisanja rada, treba voditi računa o mogućim nepredviđenim stanjima u koje sistem može da zapadne.



Slika 5. Sile koje deluju na disk

4.1. Režim otkočivanja

Aktivacijom špulne ravnodnog ventila VAL1 dovodimo sistem u režim otkočivanja. Hidraulični cilindri dolaze u krajnji uvučeni položaj i sabijaju oprugu.



Slika 6. Hidraulični sistem u režimu otkočivanja

U sistemu postoji deo koji nam služi za akumulaciju ulja pod pritiskom koji prilikom aktivacije komandnog ventila direktno deluje na cilindar i ubrzava vreme uvlačenja. Kada se da komandni signal za otkočivanje postoji određeno kašnjenje startovanja motora koji pokreće uljnu pumpu i vreme za koje uljna pumpa napravi određeni pritisak u sistemu. Akumulator nam pomaže da imamo trenutno dejstvo i premostimo to vreme zadržke uljne pumpe.

4.2. Režim mirovanja

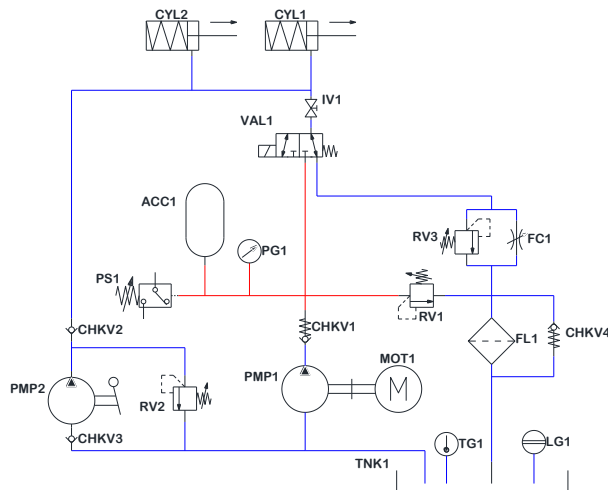
Kada se u sistemu stvori zadati pritisak, davač pritiska (PS1) prekine napajanje motora i sistem prelazi u sistem mirovanja. Špulna razvodnika (VAL1) je i dalje aktivna.

Kako hidraulične komponente nisu savršene one imaju propuštanje određene količine ulja u zatvorenom stanju. To propuštanje ulja nije poželjno jer automatski dolazi do približavanja pakni disku i neželjenog kočenja. Zbog te pojave akumulator nam takođe služi da nadoknadi propuštenu količinu ulja. Ako se sistem ređe pali, akumulator će se isprazniti i tada će se aktivirati davač pritiska koji će uključiti pumpu koja će ponovo napraviti potreban pritisak.

Tako dolazimo do jednog ciklusa održavanja kočnice u režimu mirovanja.

4.3. Režim kočenja

Deaktivacijom špulne razvodnika (VAL1) ulje kreće iz cilindra u rezervoar preko regulatora pritiska (RV3) i regulatora protoka (FC1). Obloge dodiruju disk i kreće kočenje.



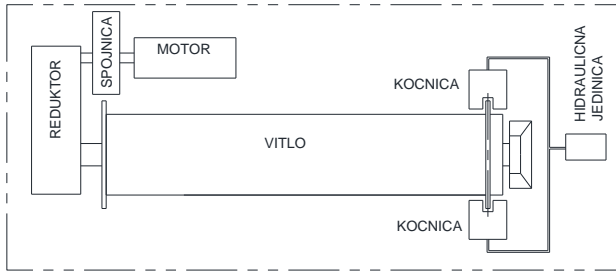
Slika 7. Hidraulični sistem u režimu kočenja

Kako u zakočenom položaju imamo određen razmak između diska u režimu kočenja to rastojanje je samo vremenski trošak i taj hod treba što pre preći kako bi se ubrzalo kočenje.

Regulator pritiska (RV3) nam omogućuje da podesimo pritisak tako da se kočiona obloga skoro priljubi uz disk bez ograničenja protoka a kada se taj pritisak postigne krene sa kontrolisanim protokom preko regulatora protoka (FC1) i time postignemo „meko“ kočenje bez udara na disk.

5. DEFINISANJE POTREBNIH PARAMETARA

Prilikom dimenzionisanja moramo znati potrebne parametre sistema kao što su pritisak, protok i vreme aktivacije. U daljoj analizi uzećemo sistem koji se sastoji od jednog vitla, jednog diska, dve kočnice i jedne hidraulične jedinice.



Slika 8. Plan sistema

Potrebni parametri:

- Sila jedne opruge u otkočenom stanju $F_2=115\text{kN}$
- Sila jedne opruge pri kočenju $F_1=100\text{kN}$
- Brzina kočenja $t_k=0,3\text{s}$
- Brzina rasterećenja $t_r=1\text{s}$
- Površina klipa $A=12743\text{mm}^2$
- Maksimalan hod klipa $l_{\text{max}}=13\text{mm}$
- Rastojanje između diska i kočione obloge $h=1\text{mm}$
- Dužina creva od jednog cilindra $l_c=1.5\text{m}$

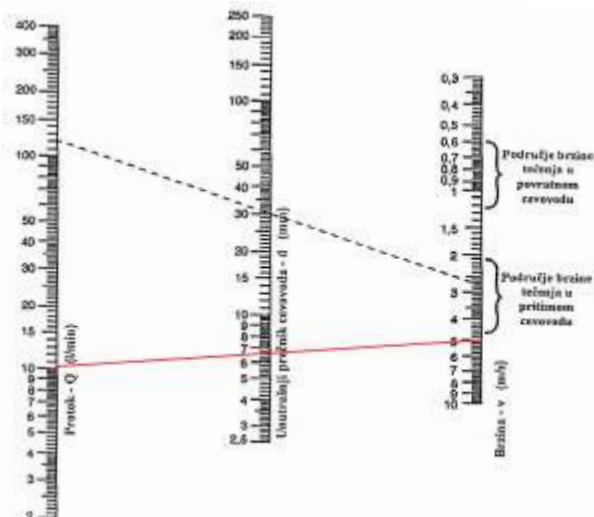
5.1. Dobijene vrednosti

- Potreban pritisak p_1 za savladavanje sile F_1 je 78,5 bar
- Potreban pritisak p_2 za savladavanje sile F_2 je 90,2 bar
- Zapremina ulja V_{uk} je 51cm^3
- Maksimalno vreme za rasterećenje je 1s pa je potreban protok Q_r je 3,06 l/min
- Brzina kočenja mora zadovoljiti 0,3s pa je protok ulja prilikom kočenja Q_k je 10,2 l/min
- Maksimalna količina ulja u kočnicama $V_{\text{ukoč}}$ je 663cm^3

6. USVAJANJE KOMPONENTI

6.1. Usvajanje vodova hidrauličnog fluida

Prečnik cevovoda možemo lako odrediti sa nomograma kao na slici 9. jer imamo zadat maksimalan protok od 10,2l/min.

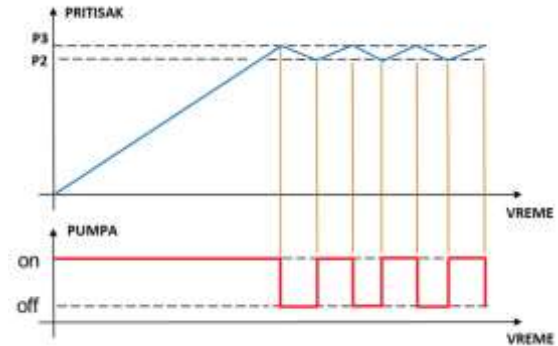


Slika 9. Nomogram za određivanje hidrauličnog creva

Preporučena brzina strujanja ulja kroz cevovod za pritiske ispod 100bar za potisni vod je od 4,5 do 5 m/s. Ukupna zapremina ulja u crevima je 193cm^3 .

6.2. Usvajanje davača pritiska

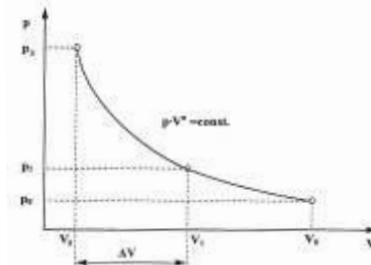
Zbog unutrašnjih curenja hidrauličnih komponenti, ulje će krenuti da se sliva u rezervoar i kočione obloge će krenuti da se približavaju disku. To se ne sme dozvoliti pa se davač pritiska mora tako podesiti da aktivira pumpu pre nego što cilindar krene da se spušta. Davači pritiska uglavnom imaju histerezis od oko 10% od prekidačkog pritiska pa se on u našem sistemu mora podesiti na pritisak oko 100bar.



Slika 10. Dijagram rada davača pritiska

6.3. Usvajanje akumulatora

Hidraulični akumulatori služe da predaju određenu količinu fluida pod pritiskom u sistem. U hidrauličnim sistemima se mogu koristiti za obavljanje raznih funkcija a u našem sistemu ćemo razmatrati funkciju akumulaciju energije i kompenzaciju isteklog ulja. Konstrukciono postoje nekoliko tipova ali mi ćemo koristiti hidro-pneumatski tip sa gumenim mehom kao razdelnim elementom.



Slika 11. Dijagram promene $p - V$ kod akumulatora

6.3.1. Za akumulaciju energije

Kako bi smanjili veličinu pumpe a samim tim i elektromotora možemo postići dodavanjem akumulatora u sistem kao elementa koji ima određenu količinu ulja pod pritiskom. U režimu otkočivanja potrebno je da kočnica pomeri za 1mm što smo izračunali da je potrebno 51cm^3 sa pritiska p_1 na p_2 . Kako nam je pritisak isključivanja p_3 i dodatna količina koja se dodaje u sistem oko 1cm^3 , ukupna količina ulja koja je potrebna da se sa pritiska p_1 dodaje do p_3 je 52cm^3 . Ako uzmemo da se pola ciklusa uradi sa akumulatorom a pola sa pumpom dobijemo da je potrebno oko 26cm^3 ulja. Kako je potrebno da se proces obavi za 1s što je manje od 1min pa je proces sabijanja/ekspanzije gasa adijabatski gde ne dolazi do razmene toplote gasa sa okolinom. U toku rada temperatura u sistemu se menja pa se pritisak pretpunjenja mora korigovati zbog temperaturne zavisnosti gasa i on iznosi $p_{\text{op}}=63\text{bar}$.

Potrebna zapreminu akumulatora je $V_0=191\text{cm}^3$. Zbog neidealnih gasova koji se koriste u industriji, ponašanje azota u akumulatoru je drugačije pa moramo uzeti korekcionni faktor. Stvarna potrebna zapremina akumulatora da se ceo ciklus izvrši pomoću akumulatora je $V_{os}=220\text{cm}^3$. Uzećemo prvu standardnu vrednost akumulatora od 200cm^3 što daje realnih 174cm^3 . Sa ovim akumulatorom imaćemo upotrebljivu količinu ulja od $\Delta V_1 \approx 23\text{cm}^3$.

6.3.2. Za kompenzaciju isteklog ulja

Hidraulične komponente imaju unutrašnje curenje od oko $0,15\text{cm}^3/\text{min}$. U našem sistemu pad pritiska dolazi zbog curenja na RV1, CHKV1, CHKV2. Što znači da imamo manju količinu ulja od oko $0,5\text{cm}^3/\text{min}$. U ranije dobijenom računu smo dobili da kada pumpa dostigne pritisak p_3 i isključi se da bi se ponovo uključila treba da iscure oko 1cm^3 ulja. Što bi u našem slučaju bilo na svaka dva minuta. Kako imamo akumulator u sistemu pumpa će se ređe uključivati jer će akumulator nadoknaditi isurelo ulje. U ovom režimu rada gas se ponaša prema izotermnom procesu gde se proces kompresije i ekspanzije gasa odvija polako uz potpunu razmenu toplote gasa sa okolinom. Kako imamo brzo punjenje akumulatora po adijabatskom procesu a u stanju mirovanja je pražnjenje po izotermnom procesu, količina ulja koje akumulator može da preda je $\Delta V_2=14\text{cm}^3$.

6.3.3. Prelazak između dva režima

Najnepovoljniji slučaju je da je akumulator u režimu kompenzacije isteklog ulja na kraju ciklusa, a kočnica treba da se otkoči. U ovom slučaju imamo prelazak i izotermnog u adijabatski režim i količina ulja koju akumulator može da preda je $\Delta V_3=13\text{cm}^3$. Ovim smo dobili da pumpa mora da nadoknađi preostalu količinu od 39cm^3 .

6.4. Usvajanje pumpe i elektromotra

Najrasprostranjeniji elektromotori koji se koriste u industriji su asinhroni elektromotori koji su konstrukcijski jednostavni i pouzdani. Snaga tih motor je standardizovana i kreće od $0,12\text{kW}$ pa naviše. Broj obrtaja zavisi od broj polova u motoru ali uglavnom standardno se nudi elektromotor sa oko 1500 o/min . Takođe se u katalogima za uljne pumpe može naći podatak protoka pumpe pri 1500 o/min . U sistemu koji smo usvojili imamo uljnu pumpu koja je konstantnog protoka.

Najrasprostranjenije pumpe konstantnog protoka su zupčaste pumpe koje su konstrukcijski jako jednostavne i gabaritno dosta malih dimenzija.

S obzirom da pumpa treba da napuni 39cm^3 ulja u akumulator za $1,3\text{s}$ (zbir vremena kočenja i otkočivanja) potreban protok pumpe Q_{pp} je $1,8\text{ l/min}$.

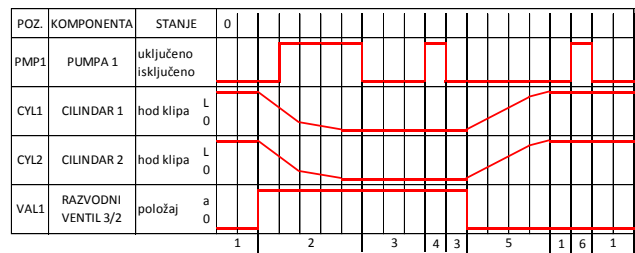
Kako nam je potreban pritisak u sistemu od 100 bara snagu elektromotra ćemo izračunati P_{ent} je $0,46\text{kW}$.

Iz kataloga ćemo uzeti motor od $0,55\text{kW}$ i broj obrtaja 1440 o/min a pumpu ćemo uzeti standardne veličine iz kataloga od $1,5\text{ cm}^3/\text{o}$.

Moment za pokretanje pumpe je $M_{sp}=3,1\text{Nm}$

7. FUNKCIONALNI DIJAGRAM

Pomoću funkcionalnog dijagrama možemo videti brzinu kretanja hidrauličnog cilindra u funkciji vremena.



Slika 12. Funkcionalni dijagram

8. MODEL SISTEMA

Trend u industriji je da se sav rad na prototipu radi na računaru u programima za 3d modeliranje kako bi se ubrao proces razvijanja proizvoda. Skoro svi vodeći brendovi hidrauličnih komponenti daju besplatno svoje proizvode u nekom 3d formatu kako bi kupci mogli što brže da razvijaju svoje proizvode a samim tim i izabrali njihovo rešenje za svoj proizvod. Mi smo naš sistem izmodelovali i sastavili od postojećih komponenti u programu Autodesk Inventor i ovako bi trebalo da izgleda kad bi se napravio.



Slika 13. 3d model projektovanog sistema

9. ZAKLJUČAK

U ovom radu smo pokazali da je hidraulika jako kompleksna i da svaki zadatak može imati više rešenja. Kod odabira rešenja možemo imati više kriterijuma pa tako nam svako rešenje može biti optimalno za naš kriterijum. Izabrani hidraulični sistem koji je projektovan u ovom radu po karakteristikama, kompleksnosti i ceni predstavlja neko optimalno rešenje za naš problem. Pokazali smo da se modernim tehnologijama može ubrzati proces projektovanja a time smanjili cenu proizvoda. Ovo je posebno važno za specifične aplikacije gde se proizvod radi po zahtevu i gde se mora voditi računa o najmanjim sitnicama.

10. LITERATURA

- [1] Mitar T. Jocanović, Automatizacija procesa rada- Osnove hidrauličnog upravljanja, Novi Sad, 2015.
- [2] Vladimir Savić, Osnovi uljne hidraulike, IKOS, Zenica, 1991.

Kratka biografija:



Boris Timko rođen je u Novom Sadu 1986. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronike odbranio je 2018.god. kontakt: timko.boris@gmail.com