

Projektiranje eksperimentalnog postava za analizu hidrauličkih sustava u otvorenom krugu

Semren, Dominik

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:429479>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-03**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Dominik Semren

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Šitum

Student:

Dominik Semren

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Željku Šitumu na korisnim savjetima i sugestijama tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se zaposlenicima tvrtke Bibus Zagreb d.o.o na suradnji i praktičnim savjetima pri projektiranju eksperimentalnog postava.

Na kraju bih se zahvalio obitelji i prijateljima na podršci tijekom studija.

Dominik Semren



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	602-14/22-6/1
Ur. broj:	15-1703-22-

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **DOMINIK SEMREN** Mat. br.: 0035199138

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projektiranje eksperimentalnog postava za analizu hidrauličkih sustava u otvorenom krugu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of an experimental setup for the analysis of hydraulic systems in an open circuit**

Opis zadatka:

Elektrohidraulički sustavi daju kompetitivne značajke suvremenim automatiziranim pogonima, jer povezuju mogućnosti ostvarenja velikih snaga hidrauličkim aktuatorima te jednostavnu obradu i prijenos upravljačkih signala električnim komponentama. Analiza funkcioniranja hidrauličkih krugova, kao i istraživanje metoda za poboljšanje njihove učinkovitosti u različitim režimima rada najuspješnije se postiže ispitivanjem na stvarnim eksperimentalnim sustavima. Hidraulički sustavi sastoje se od različitih komponenti kao što su pumpe, motori, cilindri, ventili, te mnogih pomoćnih elemenata (spremnici, akumulatori, filteri, cijevi i crijeva, mjerni uređaji i dr.) potrebnih za realizaciju funkcije postrojenja. Za ispravno djelovanje i optimalnu izvedbu hidrauličkog sustava potrebno je dobro poznavati značajke korištenih komponenti i različite načine izvedbe funkcije postrojenja, što se može zorno demonstrirati provedbom eksperimenata na realnom sustavu.

U radu je potrebno:


- nacrtati idejno rješenje izvedbe eksperimentalnog postava za ispitivanje različitih načina funkcioniranja hidrauličkog sustava u otvorenom upravljačkom krugu, koji sadrži aktuatora za ostvarenje translacijskog i rotacijskog gibanja
- dati tehnički opis korištenih komponenti pogonskog, upravljačkog i mjernog dijela procesa
- proračunati sve relevantne veličine ispitnog uređaja na temelju kojeg se može izvršiti izbor potrebnih komponenti za izvedbu eksperimentalnog postava
- izvršiti pripremne radnje za praktičnu izvedbu eksperimentalnog postava, uzevši u obzir mogućnosti nadogradnje sustava za realizaciju reguliranog pogona.


U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
5. svibnja 2022.

Rok predaje rada:
7. srpnja 2022.

Predvideni datum obrane:
18. srpnja do 22. srpnja 2022.

Zadatak zadao: 
prof. dr. sc. Željko Šitum

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. OTVORENI HIDRAULIČKI KRUG	2
2.1. Struktura otvorenog hidrauličkog kruga	2
2.2. Komponente otvorenog hidrauličkog kruga	3
2.2.1. Pumpe	3
2.2.2. Ventilski blok PVG32.....	5
2.2.3. Razvodni klipovi.....	10
2.2.4. Upravljačka ručica - joystick	11
2.2.5. Hladnjak.....	12
2.2.6. Spremnik ulja.....	12
2.2.7. Filteri.....	13
3. PROJEKTIRANJE EKSPERIMENTALNOG POSTAVA I OPIS SEKCIJA	14
3.1. 3D i shematski prikaz projektiranog postava.....	14
3.2. Shematski prikaz projektiranog postava	15
3.3. Opis sekcija eksperimentalnog postava	17
3.3.1. Ulazni (pumpni) modul PVG32 bloka.....	17
3.3.2. Prva sekcija PVG32 bloka	18
3.3.3. Druga sekcija PVG32 bloka.....	19
3.3.4. Treća sekcija PVG32 bloka.....	20
3.3.5. Četvrta sekcija PVG32 bloka.....	21
4. PRORAČUN KOMPONENTI SUSTAVA.....	23
4.1. Proračun pumpe	23
4.2. Proračun cilindara	26
4.3. Proračun ventila za držanje tereta	28
5. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE OSTALIH KOMPONENTI SUSTAVA.....	31
5.1. Elektromotor	31
5.2. Orbitalni motor.....	31
5.3. Ventili.....	32
5.3.1. Ventil za ograničenje tlaka.....	32
5.3.2. Nepovratni ventil	33
5.3.3. Prigušno nepovratni ventil	34
5.3.4. Ručno upravljani 4/3 razvodnik.....	35
5.3.5. Ventil za držanje tereta	36
5.4. Filteri.....	36

5.4.1. Tlačni filter.....	36
5.4.2. Povratni filter	37
5.4.3. Usisni filter.....	38
6. NADOGRAĐNJA SUSTAVA.....	40
6.1. Opis nadogradnje sustava.....	40
6.2. Tehnički podaci komponenti za nadogradnju sustava	41
7. ZAKLJUČAK.....	45
LITERATURA.....	46
PRILOZI.....	49

POPIS SLIKA

Slika 1.	Otvoreni hidraulički krug[1]	2
Slika 2.	Zupčasta pumpa[2]	3
Slika 3.	Aksijalno klipna pumpa[3]	4
Slika 4.	Ventilski blok PVG32[1].....	5
Slika 5.	Izgled PVP modula [4]	6
Slika 6.	Shematski prikaz PVP modula[4]	6
Slika 7.	Izgled PVB modula[4].....	7
Slika 8.	Nekompenzirani PVB modul[4].....	7
Slika 9.	Kompenzirani PVB modul[4]	8
Slika 10.	Izgled PVE modula[4]	8
Slika 11.	Histereza proporcionalnih aktuatora[1]	9
Slika 12.	Karakteristika protoka progresivnih razvodnih klipova[4]	10
Slika 13.	Karakteristika protoka linearnih razvodnih klipova[4]	11
Slika 14.	Joystick[5]	12
Slika 15.	Prikaz eksperimentalnog postava	14
Slika 16.	Shematski prikaz idejnog rješenja hidrauličkog sustava	15
Slika 17.	Prikaz pumpnog modula.....	17
Slika 18.	Shematski prikaz prve sekcije PVG 32	18
Slika 19.	Prikaz druge sekcije PVG 32.....	19
Slika 20.	Prikaz treće sekcije PVG 32	20
Slika 21.	Prikaz četvrte sekcije PVG 32	21
Slika 22.	Tehnički podaci pumpe	24
Slika 23.	Simbol ventila za držanje tereta[6].....	29
Slika 24.	Elektromotor[7]	31
Slika 25.	Orbitalni motor[9]	32
Slika 26.	Ventil za ograničenje tlaka[10]	33
Slika 27.	Nepovratni ventil[12]	34
Slika 28.	Prigušno-nepovratni ventil[13].....	34
Slika 29.	4/3 ručno upravljani razvodnik[14]	35
Slika 30.	Ventil za držanje tereta[15]	36
Slika 31.	Tlačni filter[16]	37
Slika 32.	Povratni filter[17]	38
Slika 33.	Usisni filter[18]	39
Slika 34.	Prikaz druge faze izgradnje sustava	41
Slika 35.	Inkrementalni enkoder[19]	41
Slika 36.	Tlačni pretvarač[20]	42
Slika 37.	Proporcionalni ventil za ograničenje tlaka[21]	43
Slika 38.	Kontroler MC050[22].....	44
Slika 39.	Display DM430E-0-0-1-0[23].....	44

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tlak otvaranja ventila za držanje tereta u slučaju uvlačenja cilindra.....	30
Tablica 2. Tlak otvaranja ventila za držanje tereta u slučaju izvlačenja cilindra	30

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	cm^2	Površina klipa cilindra
A_B	cm^2	Površina cilindra
A_R	cm^2	Površina presjeka klipnjače
A_r	cm^2	Površina klipa na B strani cilindra
D	cm	Promjer cilindra
d	cm	Promjer klipnjače
F_{maxA}	N	Maksimalna sila cilindra na strani A
F_{maxB}	N	Maksimalna sila cilindra na strani B
h	cm	Hod cilindra
L	bar	Tlak na A ili B strani koji je posljedica tereta
n	min^{-1}	Brzina vrtnje elektromotora
P	bar	Pilot tlak za otvaranje ventila za držanje tereta
P_{EM}	kW	Snaga elektromotora
p_{max}	bar	Maksimalni tlak
p_{maxA}	bar	Maksimalni tlak u komori A cilindra
P_R	-	Pilot pojačanje
p_{0max}	bar	Maksimalni tlak pumpe
Q	l/min	Protok ulja u cilindru
Q_{maxB}	l/min	Maksimalni protok na B strani cilindra
Q_{pmax}	l/min	Količina dobave pumpe pri maksimalnom tlaku
Q_{0max}	l/min	Maksimalna dobava pumpe
s	bar	Tlak popuštanja
t	s	Vrijeme gibanja cilindra
v_A	cm/s	Maksimalna brzina klipnjače
V_{cil}	cm^3	Volumen ulja u cilindru
V_p	cm^3	Radni volumen pumpe
η_p	-	Stupanj djelovanja pumpe
η_v	-	Volumetrički stupanj djelovanja pumpe

SAŽETAK

Tema ovoga rada je projektiranje eksperimentalnog postava za analizu hidrauličkih sustava u otvorenom krugu. Proces projektiranja eksperimentalnog postava uključuje postupak proračuna komponenti sustava. Nakon proračuna komponenti sustava, provoden je izbor komponenti otvorenog hidrauličkog kruga. Uz izabrane komponente dane su i tehničke specifikacije proizvođača. Projektirani sustav modeliran je u *software*-u CatiaV5 te je dan shematski prikaz uz objašnjenja rada pojedinih sekcija sustava, s naglaskom na PVG32 ventilski blok, koji je jedna od glavnih komponenti ovoga sustava. Na kraju je opisan proces nadogradnje sustava mjernim i upravljačkim komponentama s ciljem dobivanja eksperimentalnog postava, kojim će se moći simulirati opterećenje cilindra te analizirati pojave na komponentama otvorenog hidrauličkog kruga.

Ključne riječi: otvoreni hidraulički krug, PVG32 blok, simulacija opterećenja, analiza hidrauličkih pojava

SUMMARY

The subject of this thesis is the design of an experimental setup for the analysis of hydraulic systems in an open circuits. The process of designing the experimental setup includes the calculation process of system components. After the system components calculation process, the selection of the components was carried out. Along with the selected components, technical specifications from manufacturer were given. The designed system was modelled in CatiaV5 software and schematic representation was given with explanation of individual sections working principle, with an emphasis on the PVG32 valve block, which is one of the main components of this system. At the end, the process of upgrading the system with measuring and control components was described. The aim of the process of upgrading the system is to obtain experimental setup that will be used for simulation of load on cylinders and for analysis of the phenomena on the components of the open hydraulic circuit.

Key words: open hydraulic circuit, PVG32 block, load simulation, hydraulic phenomena analysis

1. UVOD

U ovom radu predstaviti će se proces projektiranja eksperimentalnog postava za analizu hidrauličkih sustava u otvorenom krugu. Analizu rada pojedinih komponenti poput pumpi, motora, ventila za držanje tereta te ostalih komponenti omogućit će se izvedbom sustava kojom je moguća simulacija opterećenja i koja ima dovoljan broj mjernih mjesta tlaka, brzine i pomaka. U pogledu simulacije opterećenja, ona će biti moguća na orbitalnom motoru, te na cilindrima čije klipnjače će se kruto spojiti. Prvi tip opterećenja cilindra je negativno opterećenje koje je karakteristično za spuštanje tereta, a drugo je pozitivno koje karakterizira guranje tereta. U početnoj fazi izgradnje sustava na njemu će biti ugrađeno osam manometara preko kojih će se vizualno moći pratiti tlakovi u sustavu, a u procesu nadogradnje sustava u sustav će se postaviti osam senzora tlaka koji će biti priključeni na osam već postojećih manometara. Na vanjske LS_A i LS_B priključke prvih triju PVG sekcija sustava ugraditi će se šest ventila za regulaciju tlaka čime će se moći mijenjati tlakove opterećenja na A i B stranama navedenih sekcija. Prije procesa projektiranja opisati će se otvoreni hidraulički krug, odnosno njegovi elementi. Proces projektiranja sustava obuhvatit će postupke proračuna i odabira komponenti sustava. Ovim radom predstaviti će se idejno rješenje sustava kroz faze izrade sustava. Na vodilice klipnjača cilindra te na orbitalni motor će se montirati inkrementalni enkoderi za mjerenje brzine i pomaka.

Faza nadogradnje sustava podrazumijeva ugradnju PLUS+1 *software*-a, 50-pinskog kontrolera te uređaja za unošenje i prikazivanje podataka. Funkciju povezivanja i upravljanja dijelovima sustava imat će *software* PLUS+1 proizvođača Danfoss koji će također omogućiti kvalitetnu analizu dinamičkih promjena u sustavu, jer će biti moguća pohrana dijagramskih zapisa u električnom obliku na računalu. Ovakva mogućnost analize otvorenog hidrauličkog kruga korisniku će olakšati put do zaključaka o smislenosti novih modifikacija sustava.

Osim prethodno navedenog, nadogradnja sustava će se nastaviti implementacijom 8-kanalnog uređaja koji će imati funkciju mjerenja protoka, tlaka u šest mjernih točaka te temperature.

Upotpunjen navedenim nadogradnjama eksperimentalni sustav će se moći koristiti za preciznu analizu gubitaka u sustavu ili na pojedinom elementu, odnosno analizu učinkovitosti, granice brzine reakcije i slično. Ovakvom nadogradnjom bit će moguće uspoređivati razlike u brzinama reakcije i točnostima pozicioniranja različitih aktuatora.

2. OTVORENI HIDRAULIČKI KRUG

2.1. Struktura otvorenog hidrauličkog kruga

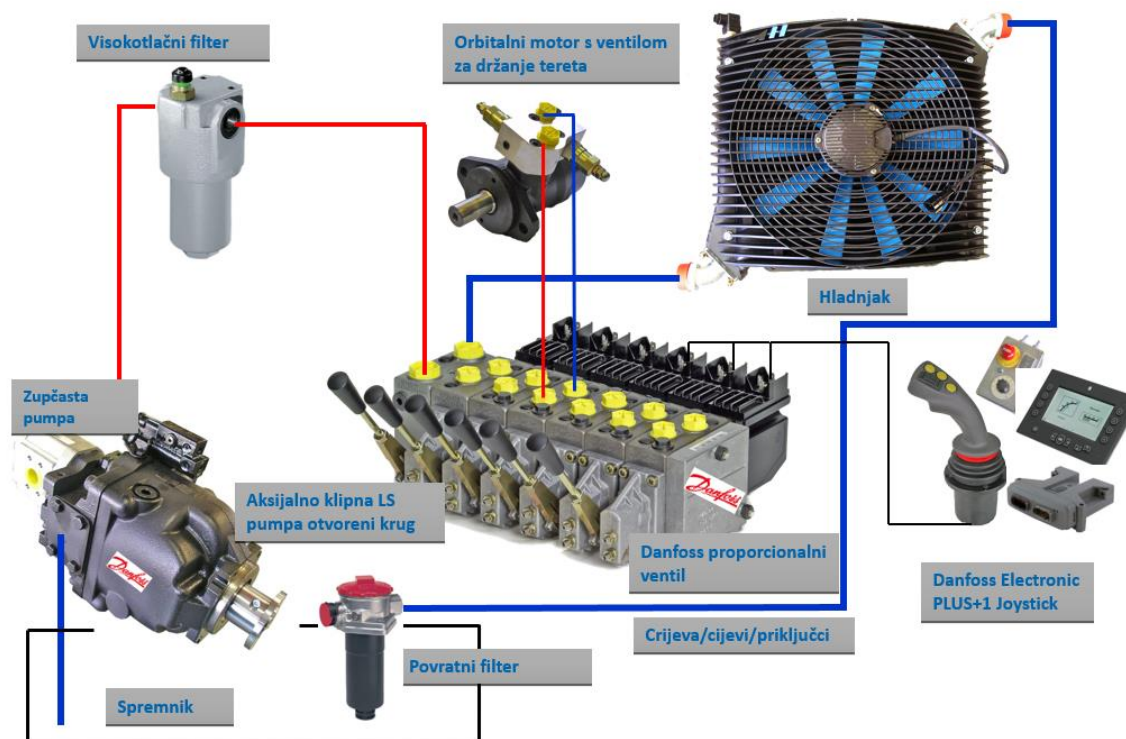
Otvoreni hidraulički krug se koristi kada trebamo iz istog izvora (pumpe) napajati više aktuatora (cilindara ili motora). Prema vrsti pumpe hidraulički krug može biti napajan pumpom konstantnog protoka koje mogu biti zupčaste ili klipne.

Druga vrsta izvora napajanja su pumpe varijabilnog protoka koje se mogu razlikovati u vrsti regulacije, gdje ona može biti LS (*load sensing*) regulacija ili PC (*pressure compensated*) regulacija[1]. LS regulacija prilagođava i tlak i protok ulja u sustavu prema potrebama potrošača, a PC regulacija održava konstantan tlak, a prilagođava protok.

Pumpe konstantnog protoka koriste se tamo gdje je potreba za količinom ulja konstantna i blizu maksimalne količine dobave ili kod povremenog pogona. U ostalim slučajevima zbog uštede energije koriste se varijabilne pumpe s odgovarajućim ventilskim blokovima.

Osnovne komponente otvorenog hidrauličkog kruga su spremnik ulja s pripadajućim elementima, motor, pumpa, tlačni filter, ventilski blok, aktuatori (cilindri i motori), hladnjak (ako je potreban), povratni filter, upravljačka ručica (*joystick*), ekran (*display*), kontroler, mjerni i pokazivački uređaj, priključci i cijevi.

Otvoreni hidraulički krug prikazan je slikom 1.



Slika 1. Otvoreni hidraulički krug[1]

2.2. Komponente otvorenog hidrauličkog kruga

2.2.1. Pumpe

Pumpe koje se koriste u otvorenom hidrauličkom krugu mogu se podijeliti na pumpe konstantne količine dobave te pumpe promjenjive, varijabilne, količine dobave ulja.

Pumpe konstantne dobave ulja su zupčaste pumpe i aksijalno klipne pumpe. Zupčaste pumpe su podijeljene u četiri grupe veličina s radnim volumenom od $0,2 \text{ cm}^3/\text{okr}$ do $200 \text{ cm}^3/\text{okr}$. Tlakovi koji se mogu realizirati su od 150 bar kod većih pumpi do 280 bar kod manjih pumpi. Aksijalno klipne pumpe imaju radni volumen $20 \text{ cm}^3/\text{okr}$ do $250 \text{ cm}^3/\text{okr}$. Tlakovi koji se mogu postići su do 350 bara.



Slika 2. Zupčasta pumpa[2]

Pumpe konstantne dobave koriste se tamo gdje aktuatori (cilindri i/ili motori) trebaju onu količinu ulja koju pumpa dobavlja. Ugrađuju se također u sustave kad se koristi samo jedan aktuator u kombinaciji s ventilom, gdje su u neutralnom položaju priključci P i T povezani i u čekanju nema velikih gubitaka. Ako se koriste za opskrbu više aktuatora tada se zbog bolje učinkovitosti koriste u kombinaciji sa ventilima koji imaju tlačnu vagu u ulaznom modulu, kao što je slučaj kod ventilskog bloka PVG32. U tom slučaju, kad postoji višak ulja, tlak pumpe ne postiže maksimalni tlak, nego za 8-16 bar veći tlak nego što je maksimalni tlak aktuatora. Višak ulja preko tlačne vage prelijeva se u spremnik ulja.

U pumpe otvorenog kruga promjenjive količine dobave spadaju aksijalno klipne pumpe maksimalnog radnog volumena $20 \text{ cm}^3/\text{okr}$ do $250 \text{ cm}^3/\text{okr}$. Maksimalni, radni tlakovi, ovisno o veličini, tipu i proizvođaču su od 250 bar do 350 bar. Rijetko se koriste viši tlakovi jer većina standardnih ventila primjenjuje se za tlakove do 350 bara. Prikaz aksijalno klipne pumpe dan je slikom 3.



Slika 3. Aksijalno klipna pumpa[3]

Postoji više vrsta regulacije dobave aksijalno-klipnih varijabilnih pumpi, ali se najčešće koristi LS (*load sensing*) regulacija i PC (*pressure compensated*) regulacija.

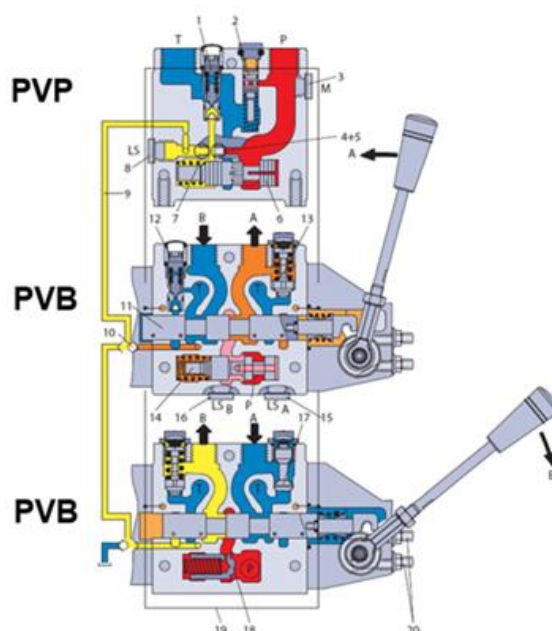
LS regulacija se najčešće koristi zbog svojih povoljnih karakteristika, a to su:

- Prilagođuje i tlak i protok potrebama aktuatora
- Nizak tlak u slučaju da aktuatori nisu aktivni (tzv. *Standby mode*, a pri tome je LS tlak 15-30 bar, najčešće 20 bar)
- Pri startu motora nije potreban visok moment
- Jednom pumpom se može opskrbljivati više krugova (više PVG blokova)
- Brza reakcija na promjenu količine dobave
- Dobra energetska iskoristivost sustava

2.2.2. Ventilski blok PVG32

PVG32 ventilski blok je najčešće korišteni ventilski blok za otvoreni krug u mobilnoj hidraulici. Sastoji se od ulaznog ili pumpnog modula PVP, radnih modula PVB, kojih može biti do dvanaest komada te završne ploče PVS ili PVS1. Elementi se slažu jedni na druge i povezani su PVAS setom vijaka.[4]

Na svakom radnom modulu je s jedne strane ručica za upravljanje PVM kojom se pomiče klip iz neutralnog položaja prema A ili B položaju. Također postoji tzv. „plivajući položaj“ koji može biti na strani A ili B. Na drugoj strani radnog modula PVB su razne ploče za ručno upravljanje ili PVE aktuatori za električno upravljanje ili PVEH aktuatori za hidrauličko upravljanje.



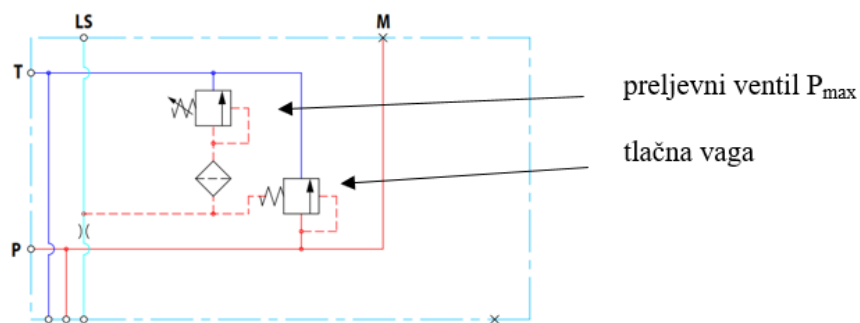
Slika 4. Ventilski blok PVG32[1]

PVP pumpni modul je ulazni modul PVG32 ventilskog bloka koji ima svrhu da preko P priključka povezuje ventil s pumpom ulja, a ako se radi o LS pumpi promjenjivog protoka tada se i LS izlaz PVP modula spaja s ulazom LS signala na regulatoru pumpe. Priključak T povezan je s spremnikom ulja preko povratnog filtera ulja. Izgled PVP modula prikazan je na slici 5.



Slika 5. Izgled PVP modula [4]

Na slici 6. prikazan je shematski PVP modul i sa shematskog prikaza je vidljivo da se sastoji od tlačne vage koja ima ulogu propuštanja viška ulja u spremnik ulja te preljevnog ventila koji reagira samo ako sustav dosegne maksimalni namješteni tlak.



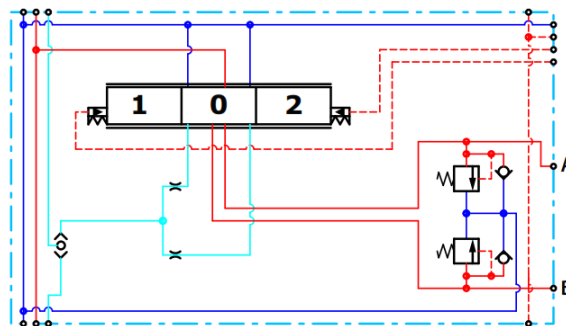
Slika 6. Shematski prikaz PVP modula[4]

PVB modul, odnosno radni modul ventilskog bloka PVG32 ventila predstavlja *interface* između PVG32 ventilskog bloka i cilindra ili motora[4]. Izgled PVB modula dan je slikom 7.



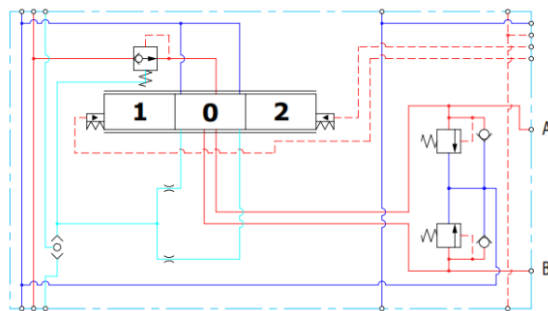
Slika 7. Izgled PVB modula[4]

PVB moduli imaju različite izvedbe, a mogu biti kompenzirani odnosno nekompenzirani. Nekompenzirani PVB moduli su oni moduli koji nemaju tlačnu vagu. Oni se koriste ako istovremeno ne radi više sekcija sa različitim tlakovima ili kada raspodjela protoka nije od velike važnosti. Shematski prikaz nekompenziranog PVB modula prikazan je slikom 8.



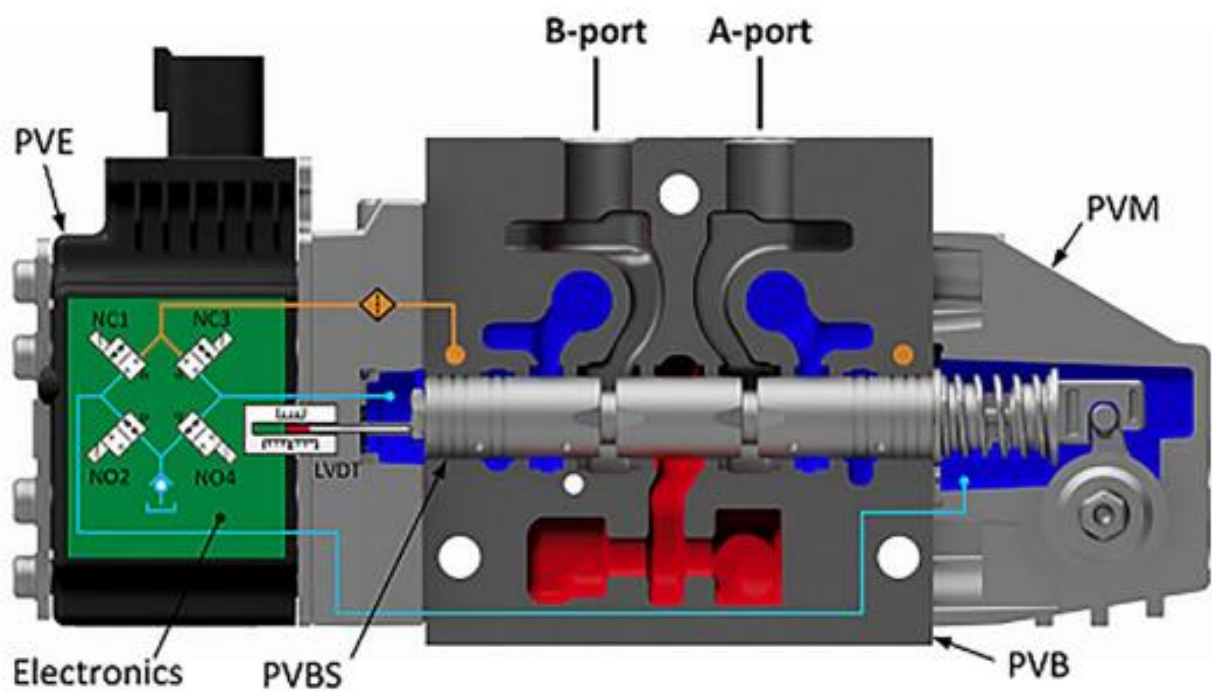
Slika 8. Nekompenzirani PVB modul[4]

Kompenzirani PVB moduli su oni moduli koji imaju tlačnu vagu. Koriste se u slučajevima kada je više aktuatora u sustavu radi istovremeno te raspodjela ulja ne smije ovisiti o opterećenju. Ovo je uobičajeni zahtjev u modernim sustavima tako da se kompenzirani PVB moduli često koriste. Shematski prikaz kompenziranog PVB modula prikazan je na slici 9.



Slika 9. Kompenzirani PVB modul[4]

PVE aktuatori su elektrohidraulički moduli koji imaju svrhu upravljanja pojedinačnim radnim sekcijama PVG bloka. Princip funkcioniranja zasniva se na pozicioniranju glavne zavojnice u PVG radnoj sekciji te se na taj način regulira protok i tlak ulja distribuiranog u ili iz radne sekcije. Pozicioniranje zavojnice aktuatorom vrši se distribucijom tlaka pilot ulja gdje se jedna strana tlači, a s druge strane se otpušta ulje u spremnik. Izgled PVE modula prikazan je slikom 10.



Slika 10. Izgled PVE modula[4]

PVE aktuatori razlikuju se po:

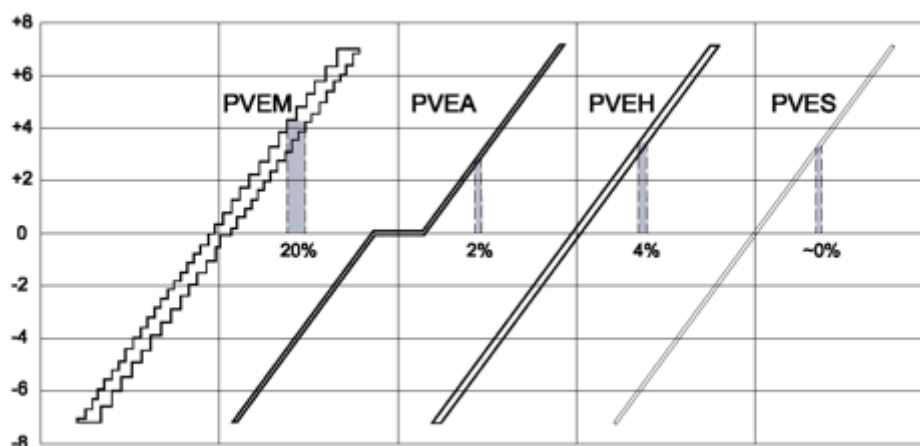
- tipu konektora na koji prima električne signale,

- upravljanju razvodnim klipom (ON/OFF ili proporcionalno),
- brzini otvaranja i zatvaranja razvodnog klipa
- po histerezi kontrole položaja razvodnog klipa

Glavna podjela je prema tome na koji način i kojom brzinom i preciznošću pokreću, kontroliraju i reguliraju položaj razvodnog klipa (protoka kod FC ili tlaka kod PC razvodnog klipa) PVB-a je kako slijedi:

- PVEO ON/OFF aktuatori, napajanja 12 VDC ili 24 VDC
- PVEO-R ON/OFF aktuatori s rampom, napajanje 12 VDC ili 24 VDC
- PVEM proporcionalni, napajanje 12 VDC ili 24 VDC
- PVEA proporcionalni, histereza 2%, srednjih performansi, napajanje 11 VDC do 32 VDC
- PVEH proporcionalni, visokih performansi, napajanje 11 VDC do 32 VDC
- PVEH-F proporcionalni, visokih performansi, napajanje 11 VDC do 32 VDC
- PVES proporcionalni, najviših performansi, napajanje 11 VDC do 32 VDC
- PVEU proporcionalni, visoke performanse, napajanje 11 VDC do 32 VDC

U pogledu histereze, na slici 11. je dan prikaz proporcionalnih aktuatora iz kojeg je vidljivo da je po kriteriju histereze najbolje performanse ostvaruje PVES, dok je PVEM najslabijih performansi sa histerezom od 20%.

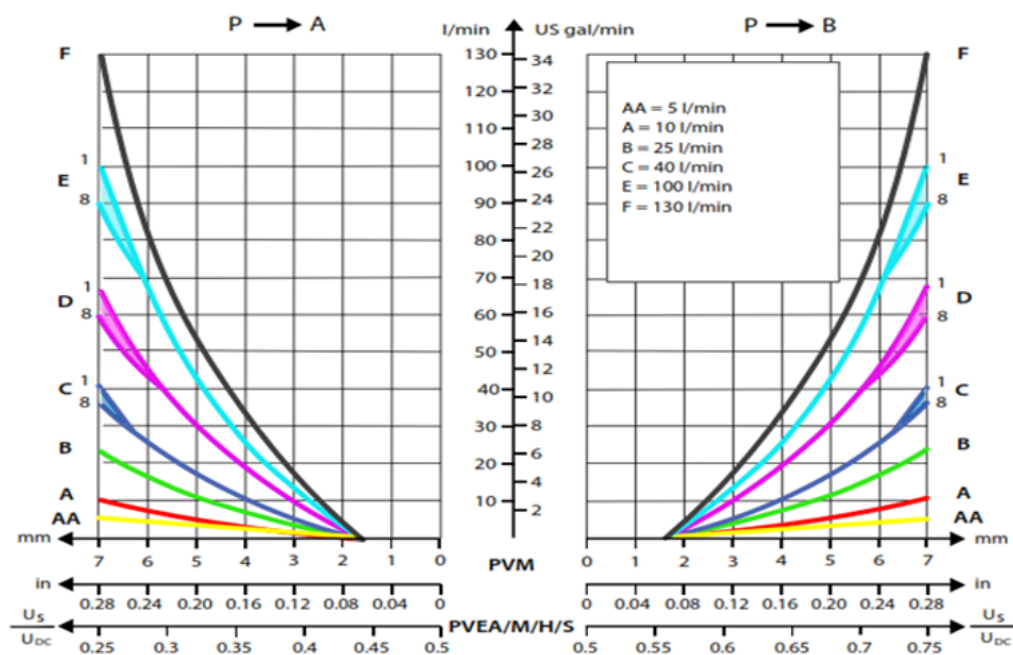


Slika 11. Histereza proporcionalnih aktuatora[1]

2.2.3. Razvodni klipovi

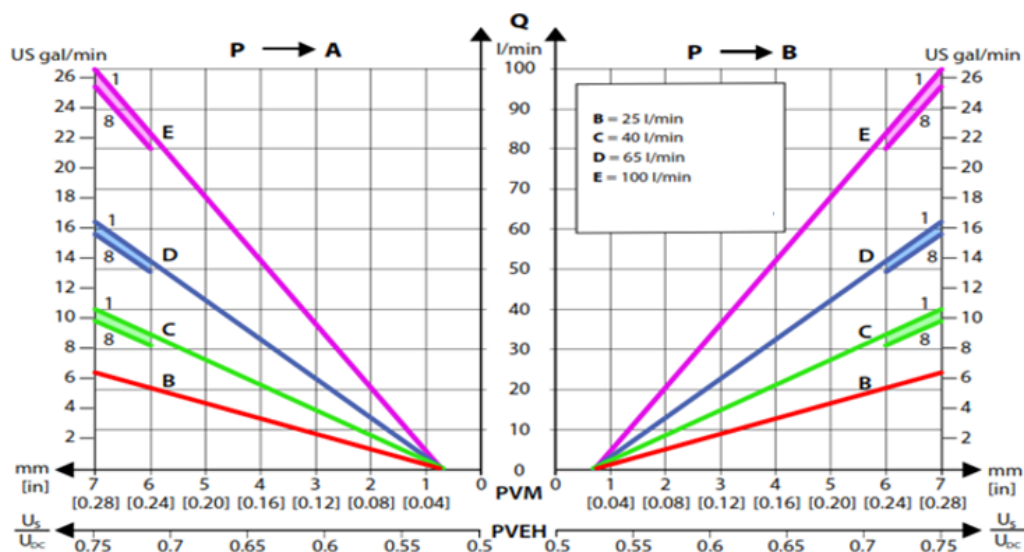
Razvodni klipovi koji su najčešće u uporabi su FC (*flow control*) razvodni klipovi koji su izvedeni tako da vrše funkciju kontrole protoka u hidrauličkom krugu. Obzirom na karakteristiku protoka razlikujemo linearne i progresivne razvodne klipove.

Razvodni klipovi s progresivnom karakteristikom protoka imaju dobro svojstvo da osiguravaju mekan start te mekano i precizno zaustavljanje. Sa dijagramskog prikaza na slici 12. vidljivo je da je hod na svaku stranu 7 mm, a prvih 1,6 mm pomaka iz neutralnog položaja ventil ostaje zatvoren. Obzirom na strmi nagib krivulje na kraju hoda od 7 mm, moguće je ograničiti protok te time poboljšati upravljivost aktuatora. Kod električnog upravljanja napon u neutralnom položaju je 50% napona napajanja koje iznosi 12 V DC ili 24 V DC. U smjeru A napon pada s 50% na 25% napona napajanja i tada je protok maksimalan. U smjeru B napon raste s 50% na 75% napona napajanja i tada je protok maksimalan. Dijagramskim prikazom razlikuje se razvodne klipove po protoku gdje je : AA=5 l/min, A=10 l/min, B=25 l/min, C=40 l/min, D=65 l/min, E=100 l/min, F=130 l/min.



Slika 12. Karakteristika protoka progresivnih razvodnih klipova[4]

Linearni razvodni klipovi rjeđe se koriste od progresivnih jer ih karakterizira tvrdi start i zaustavljanje. Dijagramski prikaz karakteristike protoka linearnog FC razvodnog klipa dan je slikom 13.



Slika 13. Karakteristika protoka linearnih razvodnih klipova[4]

2.2.4. Upravljačka ručica - joystick

Sljedeća komponenta otvorenog hidrauličkog kruga je upravljačka ručica (*joystick*), djelatelj napona napajanja. Kad je *joystick* u neutralnom položaju, a napajanje, npr. 24 VDC je uključeno, na pinu U+ je također 24 VDC, a na upravljačkom pinu S je točno 50% napona napajanja, tj. 12 VDC. Ako želimo uključiti stranu A, tada pomjeramo *joystick* i napon na S pinu pođe padati sa 50% (12 VDC) prema 25% napona napajanja (6 VDC) i tada je razvodni klip došao na kraj svog hoda i protok je maksimalan. Vraćanjem ručice *joystick*-a napon raste od 6 VDC, pri tome se razvodni klip pomjera prema neutralnom položaju i protok pada sve do nule, a napon na upravljačkom pinu je 50%, tj. 12 VDC. Ako hoćemo uključiti B stranu, situacija je simetrična samo sada s povećanjem hoda razvodnog klipa, odnosno protoka, napon raste od 50% (12 VDC) do 75% (18 VDC) kad razvodni klip dođe u krajnji B položaj i protok je maksimalan.



Slika 14. Joystick[5]

2.2.5. Hladnjak

U hidrauličkim agregatima koji stalno rade i koji imaju iskoristivost 65% do 80%, znači da se 20% do 35% energije pretvori u toplinu. Jedan dio topline, ovisno o veličini i od kojeg je materijala spremnik ulja, kakve su cijevi (metalne ili gumene) i kolika im je dužina, može se konvekcijom predati na okolinu (otprilike 10% do 20 % topline). Da bi temperatura ulja ostala na dozvoljenoj razini, ostatak razvijene topline u sustavu mora preuzeti hladnjak i predati ju na zrak koji ventilator tjera kroz lamele hladnjaka. Pogon ventilatora na hladnjaku može biti istosmjernim motorom i to je uglavnom na vozilima. U stacionarnim pogonima, kao što je ovaj sustav, pogon ventilatora je izmjeničnim motorima. U otvorenom hidrauličkom krugu temperatura ulja je obično 55°C do 65°C. Razlika između ove temperature i prosječne okolišne temperature je cca 30°C i taj podatak se koristi kada se proračunava hladnjak.

2.2.6. Spremnik ulja

U otvorenom hidrauličkom krugu svo ulje koje pumpa usiše preko usisnog filtera iz hladnjaka nakon što prođe kroz tlačni filter, cijevi, ventile, aktuatore, kroz hladnjak pa preko povratnog filtera se vraća natrag u spremnik ulja. Ako u sustavu ima dosta cilindara većeg volumena, zbog razlike u volumenu cilindra na A i B strani tijekom rada sustava mijenja se količina ulja u spremniku, razina ulja se mijenja, a time i količina zraka u spremniku. Spremnik „diše“ i za to treba odzračni filter koji je obično finoće 3 ili 5 mikrometara. Odvrtanjem ovog filtera možemo uliti ulje u spremnik, ako je potrebno. Je li potrebno nadolijevanje vidimo preko nivokaza koji je dio pribora spremnika. Kod zahtjevnijih pogona na spremniku je postavljen električni nivo

prekidač koji signalizira minimalnu razinu ulja. Na poklopcu spremnika se ugrađuje povratni filter ulja dovoljnog kapaciteta i primjerene finoće. U sam spremnik ili na bočnu stranu spremnika ugrađuje se usisni filter koji štiti pumpu od nečistoća. U spremnik se često ugrađuje pregradni lim koji prije svega sprječava kratki spoj toka ulja između povratnog i usisnog filtera. Limom se tok ulja produžuje da bi se ulje umirilo i izdvojio zrak tako na usisni filter dolazi ulje. Volumen spremnika ovisi prije svega o tipu i dinamici samog pogona i može biti od $0,8 \cdot Q_{max}$ do $3 \cdot Q_{max}$. Dobar raspored elemenata spremnika važan je za pravilan i dugovječan rad hidrauličkog sustava.

2.2.7. Filteri

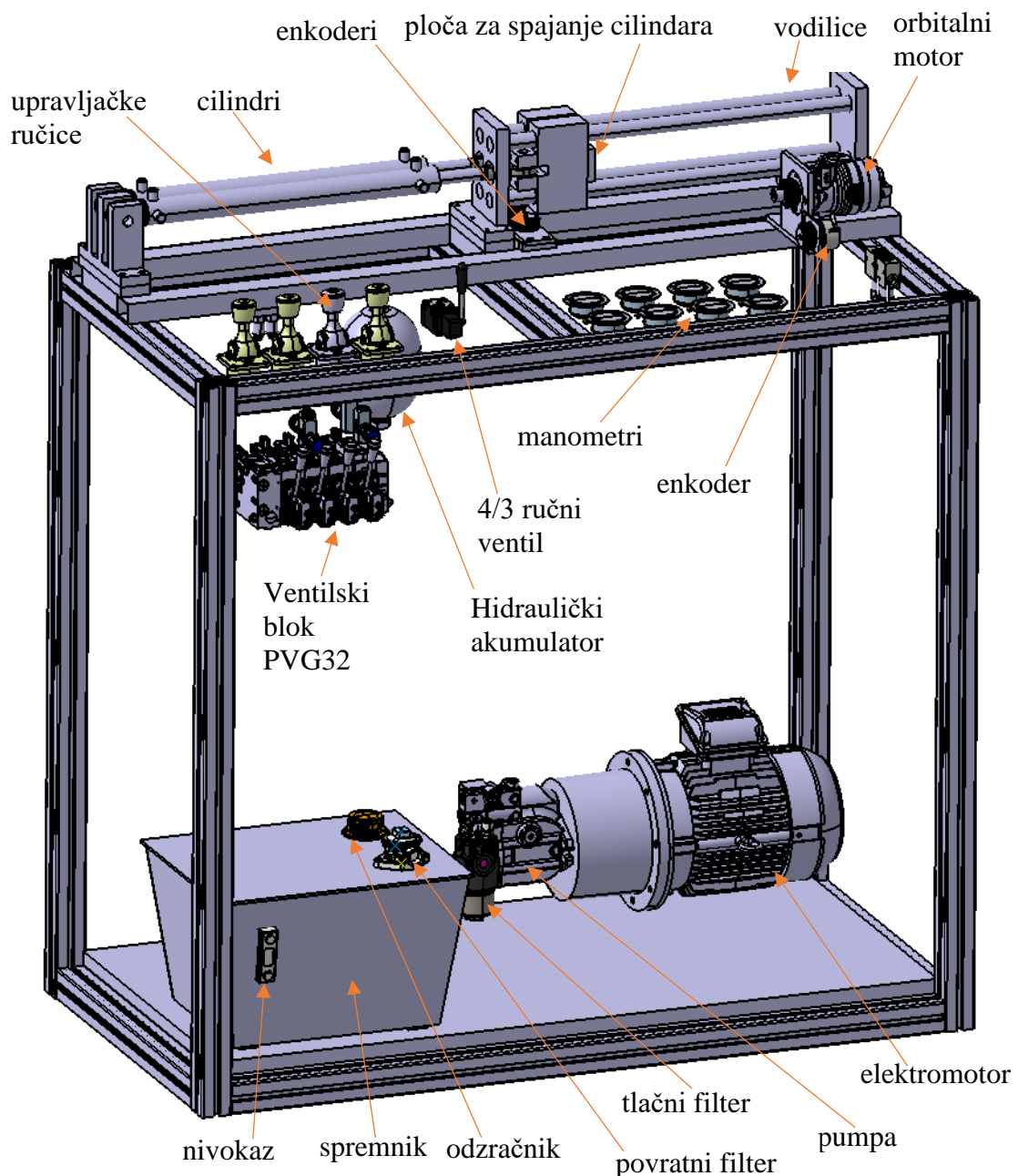
Najvažniji faktor dugovječnosti dobro projektiranog hidrauličkog sustava je pravilan izbor usisnog, tlačnog i povratnog filtera u sustavu u samom početku. U tijeku eksploatacije je važno na vrijeme mijenjati uloške filtera. Da bismo dobili informaciju da je uložak zaprljan i da je potrebna zamjena, prikladno je uzeti filtere sa električnim pokazivačem zaprljanosti. Usisni filter, ako ima mjesta, obično se uzima za veličinu veći jer, zbog moguće kavitacije, vakuum u usisu u normalnom radu ne smije biti veći od 0,2 bar.

3. PROJEKTIRANJE EKSPERIMENTALNOG POSTAVA I OPIS SEKCIJA

Ovim poglavljem prikazat će se projektirani eksperimentalni postav nacrtan u *software*-u CATIA V5 te će se shematski prikazati sustav, odnosno njegove komponente te opisati način funkcioniranja pojedinih sekcija sustava.

3.1. 3D i shematski prikaz projektiranog postava

Kako bi se što jasnije prikazao projektirani sustav, u *software*-u CATIA V5 se izvršilo crtanje idejnog rješenja eksperimentalnog postava. Nacrtani postav vidljiv je na slici 15.

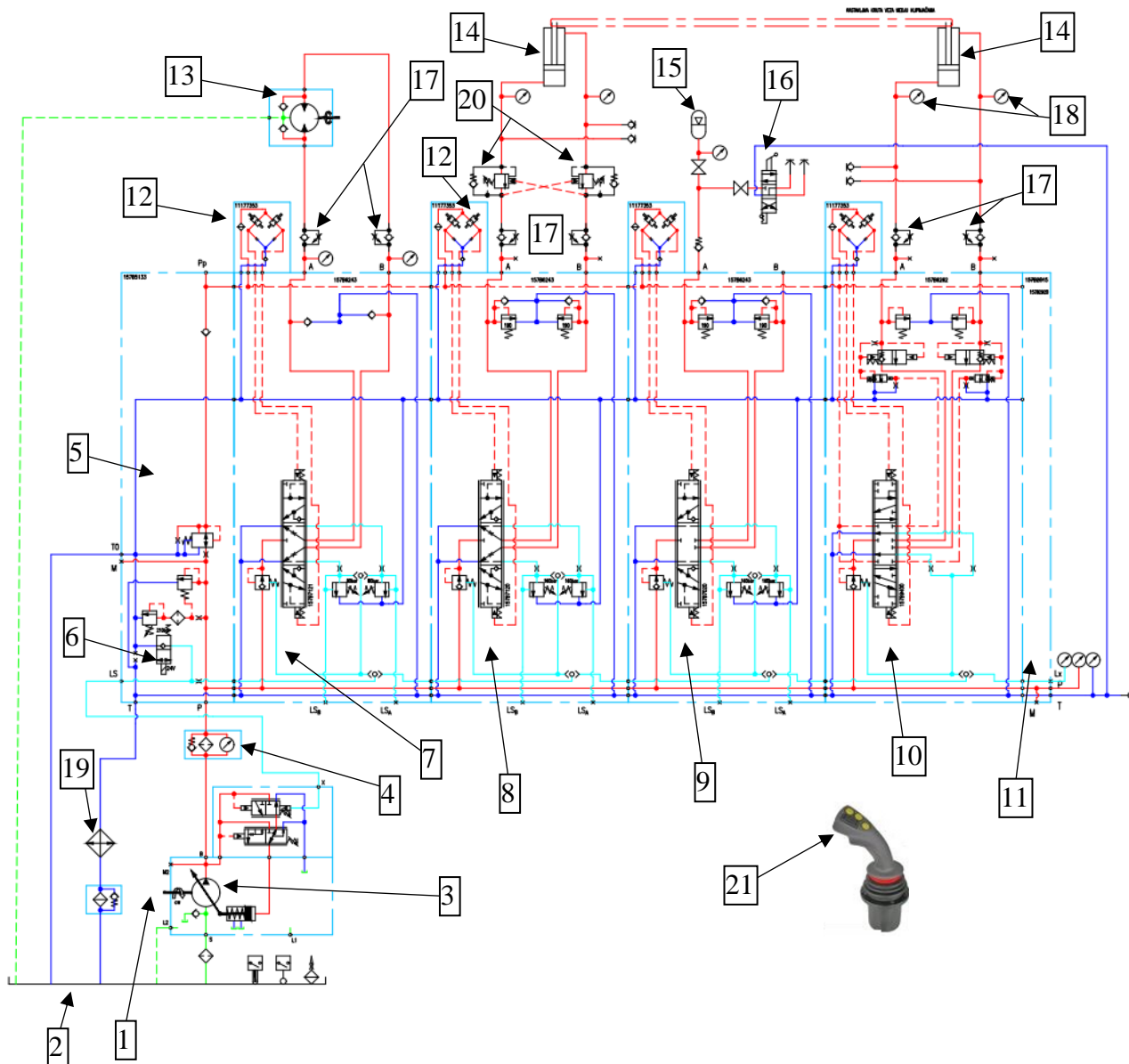


Slika 15. Prikaz eksperimentalnog postava

3.2. Shematski prikaz projektiranog postava

U ovom podpoglavlju prikazati će se shematski idejno rješenje eksperimentalnog postava. Postav je vidljiv na slici 16., a ispod nje je dana legenda odnosno popis komponenti sustava sa slike 16.

Na slici 16. dana je hidraulička shema idejnog rješenja sustava u prvoj fazi izgradnje sustava.



Slika 16. Shematski prikaz idejnog rješenja hidrauličkog sustava

Opis brojčanih pozicija sa sheme idejnog rješenja sustava dan je u nastavku:

- 1 – elektromotor (5,5 kW, 1410 okr/min)
- 2 – spremnik s nivokazom i nivoprekidačem

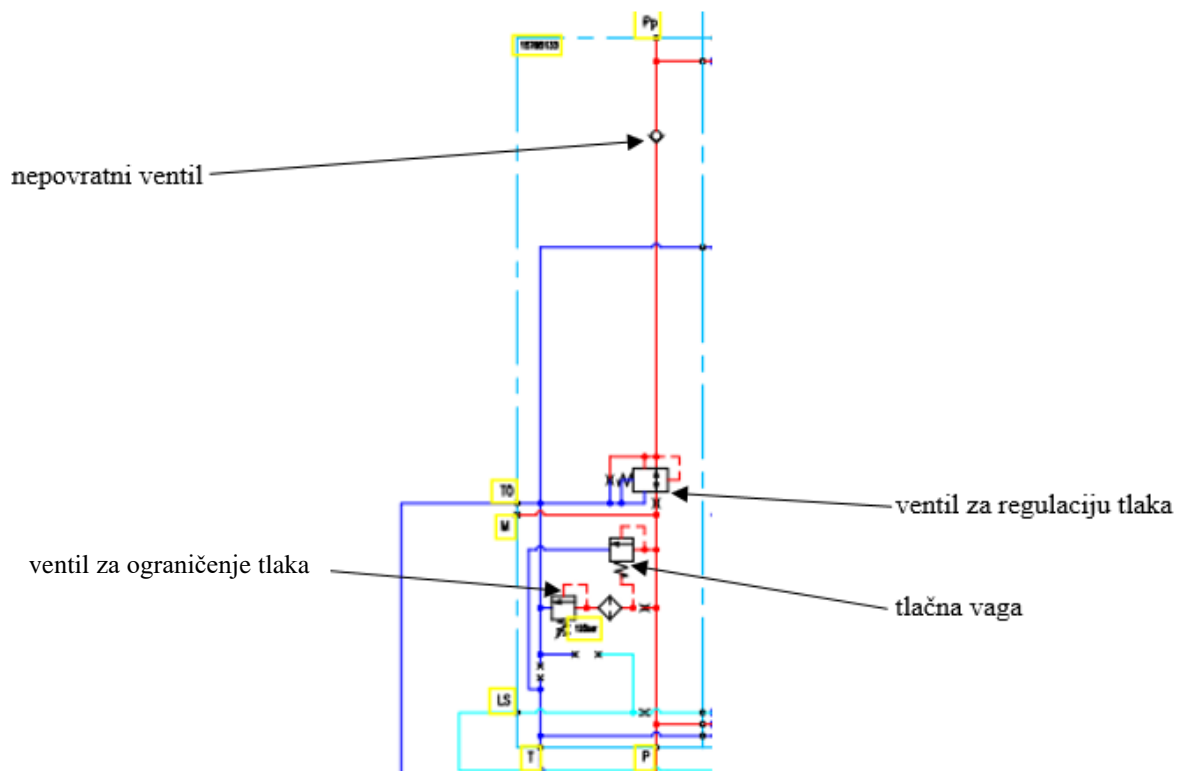
- 3 – pumpa (25 cm³/okr) – LR-L-025C-LS-17-20-NN-N-3-K1NF-A6N-PLB
- 4 – tlačni filter (40 l/min, 10µm) HD 037-156ED8 Argo Hytos
- 5 – PVP modul 157B5133 Danfoss
- 6 – PVPX NC ventil za rasterećenje LS tlaka 157B5601 Danfoss
- 7 – PVB prva sekcija 157B6243 Danfoss
- 8 – PVB druga sekcija 157B6243 Danfoss
- 9 – PVB treća sekcija 157B6243 Danfoss
- 10 – PVBZ sekcija 157B6266 s kompenzatorom, POC ventilima i šok ventilima
- 11 – PVSII završna ploča 157B2920
- 12 – PVE proporcionalni aktuator PVEA 11177346 Danfoss
- 13 – orbitalni motor (100 cm³/okr)
- 14 – hidraulički cilindar φ40/25x500
- 15 – hidraulički akumulator (250 bar, 2,8 l) FREUDENBERGER
- 16 – 4/3 ručni ventil s rasterom (sredina A, B, T povezani)
- 17 – prigušno nepovratni ventil (30 l/min, 3/8") STUO2 Hydronit
- 18 – manometar (0-250 bar)
- 19 – povratni filter (70 l/min, 10µm) E072-168EV250 Argo Hytos
- 20 – Ventil za držanje tereta CP 448-1-B-3B-E-B-XXX-3.0-040 Comatrol
- 21 – Joystick Danfoss

3.3. Opis sekcija eksperimentalnog postava

3.3.1. Ulazni (pumpni) modul PVG32 bloka

Ulazni modul je namjenjen za varijabilnu LS pumpu za električnu akciju razvodnog klipa PVB modula PVEA (11-32 V)[4]. Modul je s T_0 galerijom koja je potrebna za rasterećenje POC ventila na PVBZ sekciji. Preljevni ventil je namješten na 200 bar (30 bar više nego maksimalni tlak pumpe koji je 170 bar). Ovdje imamo i ventil za regulaciju tlaka napajanja PVE aktuatora koji je 14 bar. U kanalu napajanja PVE aktuatora je nepovratni ventil. Ova sekcija ima i 2/2 NC ventil za rasterećenje LS voda u slučaju nužde (PVPX ventil).

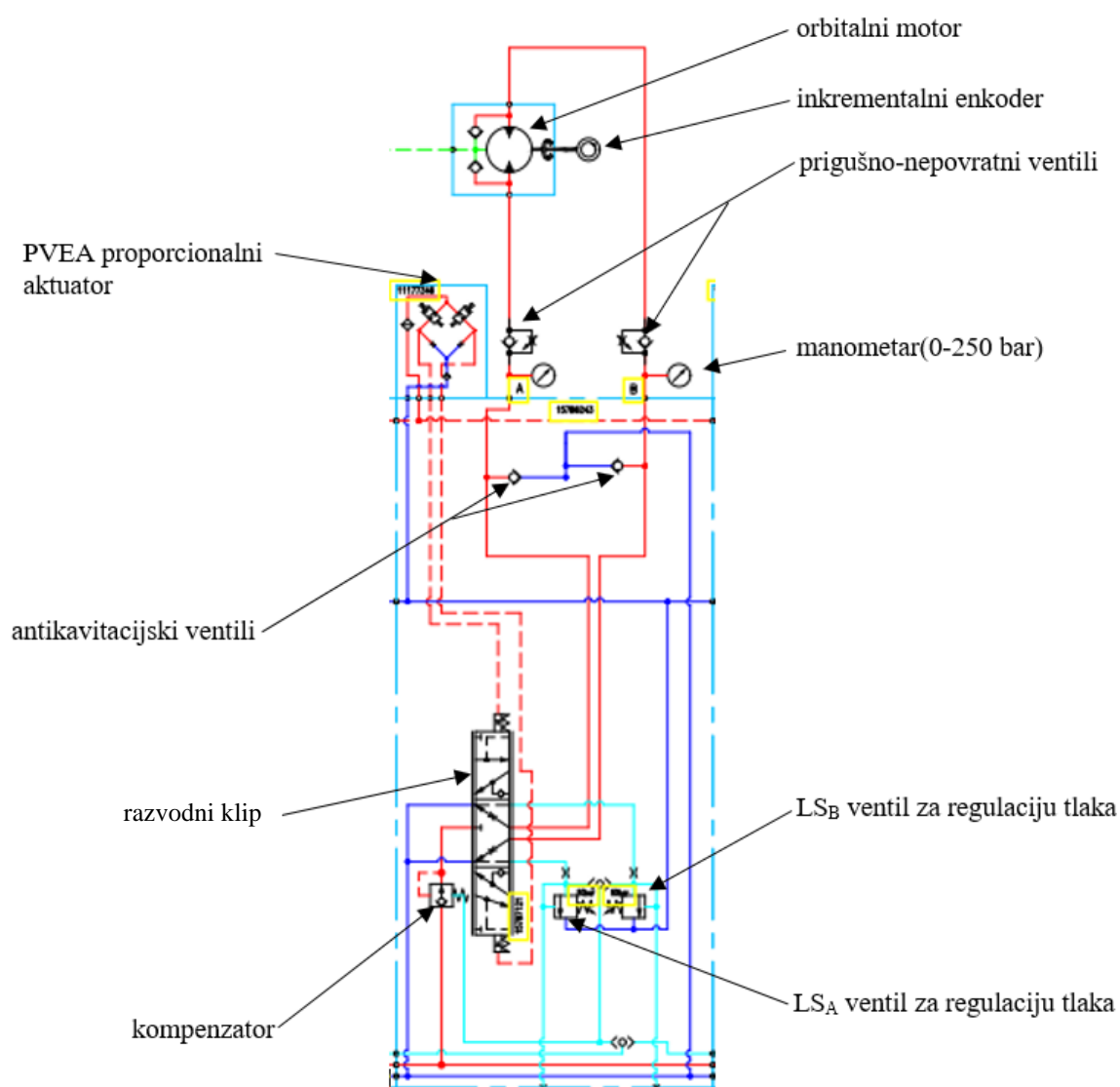
Ovaj modul prikazan je slikom 17.



Slika 17. Prikaz pumpnog modula

3.3.2. Prva sekcija PVG32 bloka

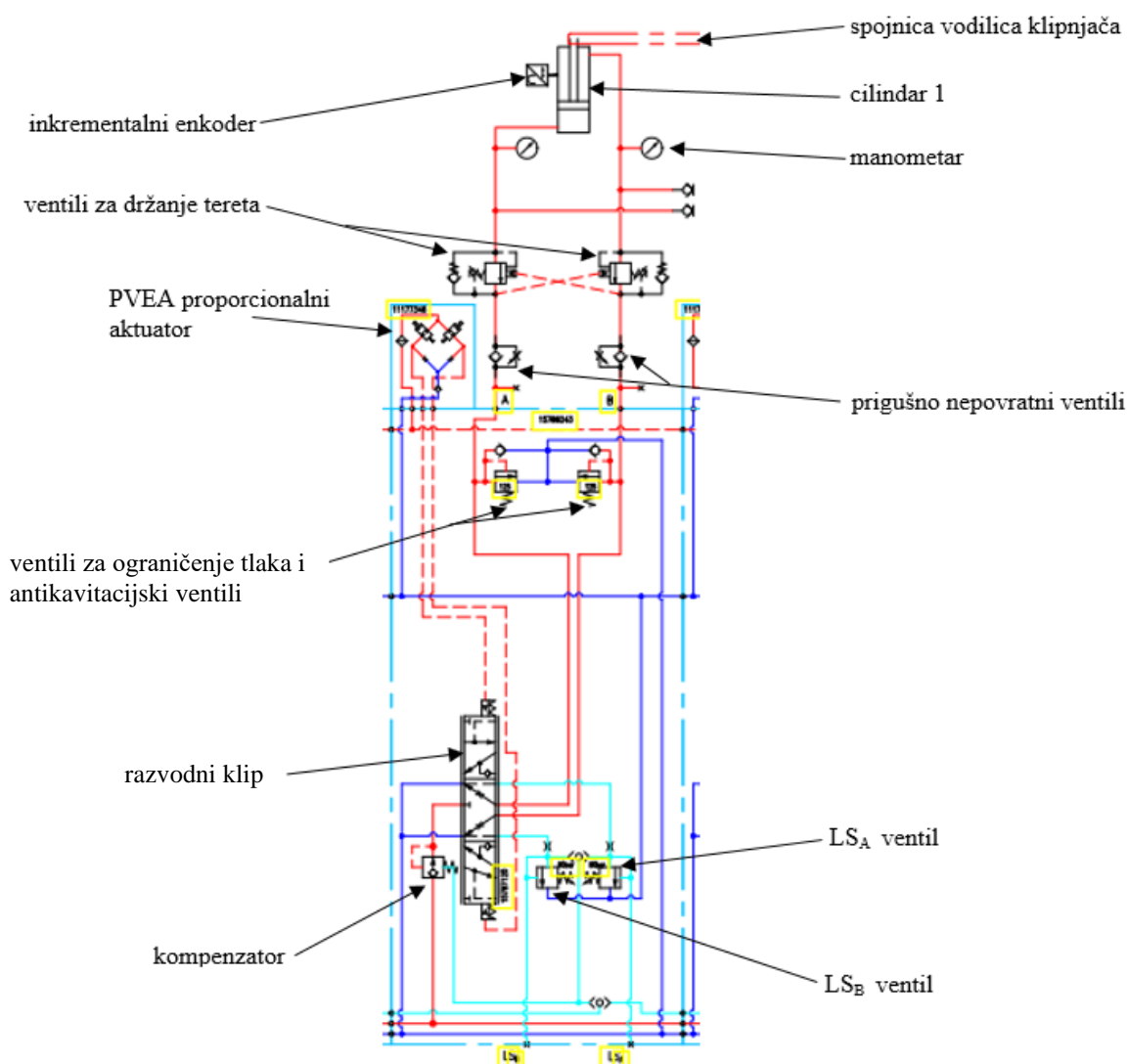
Ova sekcija upravlja gibanjem orbitalnog motora radnog volumena 100 cm³/okr. U ovoj sekciji zbog rotacijskog gibanja i velike inercije nalaze se antikavitacijski ventili. Opterećenje se simulira na A i B priključcima prigušno nepovratnim ventilima. Na A i B stranama također su manometri (0-250 bar) kojima pratimo opterećenje. U sklopu ove sekcije također se nalazi PVEA električni aktuator. Ova sekcija ima kompenzator za kontrolu protoka te LS_A i LS_B ventile za regulaciju tlaka na A i B izlazima. Regulacija je između 40 bar i 150 bar. Razvodni klip je sa 25 l/min za PVB sa ventilima za ograničenje tlaka i LS_A i LS_B ventilima sa srednjim položajem gdje su A, B, T povezani.



Slika 18. Shematski prikaz prve sekcije PVG 32

3.3.3. Druga sekcija PVG32 bloka

Ova sekcija upravlja gibanjem klipnjače prvog cilindra koji ima ventile za držanje tereta (*counterbalance valves*). Bitno obilježje ove sekcije je mogućnost opterećivanja cilindra što se postiže mehaničkim spajanjem linearnih vodilica klipnjača oba cilindra. Drugi cilindar pogoni se PVB sekcijom preko 4/3 ručnog ventila. Mijenjanjem tlaka LS_A možemo regulirati S [bar] tlak popuštanja ventila, a nakon toga i namjestiti teret L [bar] i kontrolirati koja razina tlaka P [bar] otvara ventil.



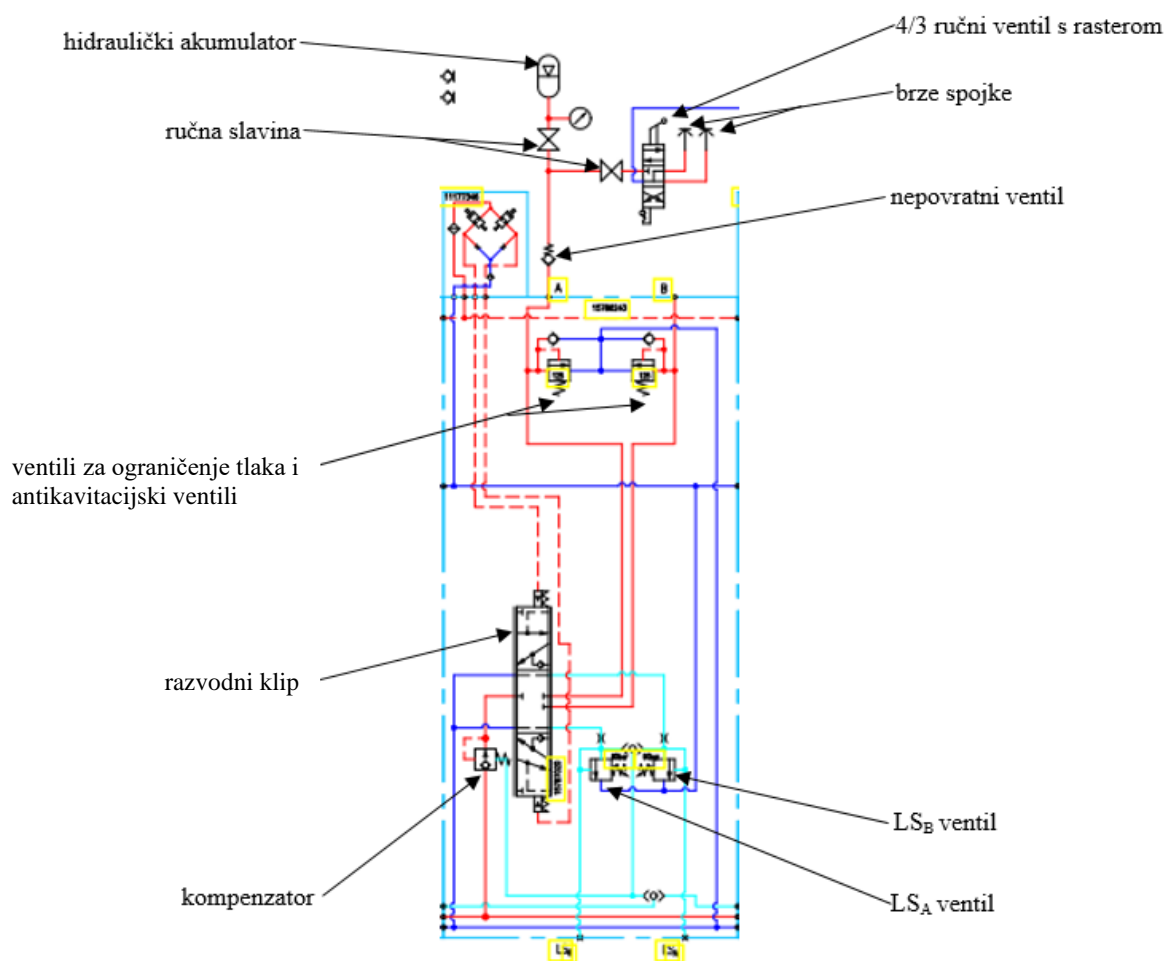
Slika 19. Prikaz druge sekcije PVG 32

Ova sekcija, kao što se vidi na slici 19., ima LS_A i LS_B ventile za regulaciju tlaka na izlazima A i B PVB sekcije u rasponu 40-150 bar. Sekcija kao i ostale PVB sekcije ima kompenzator, što omogućava istovremeni rad sekcija bez velikog utjecaja na zadani protok, neovisno o opterećenju, sve dok pumpa može dati dovoljno ulja. I u ovoj sekciji na A i B priključku imamo

prigušno nepovratne ventile za regulaciju dinamičkog otpora. PVEA električna aktuacija je ista kao na svim sekcijama. Razvodni klip za ugradnju u PVB je sa ventilima za ograničenje tlaka i LS_A i LS_B ventilima za protok od 10 l/min, sa srednjim položajem A, B, T povezani.

3.3.4. Treća sekcija PVG32 bloka

Treća sekcija PVG32 ventila ima dvije namjene. Prva je napajanje ulaza 4/3 ručnog ventila preko kojeg napajamo A ili B stranu drugog cilindra kojim opterećujemo prvi cilindar. Druga namjena je napajanje hidrauličkog akumulatora tlakom LS_A koji može biti do 150 bar.



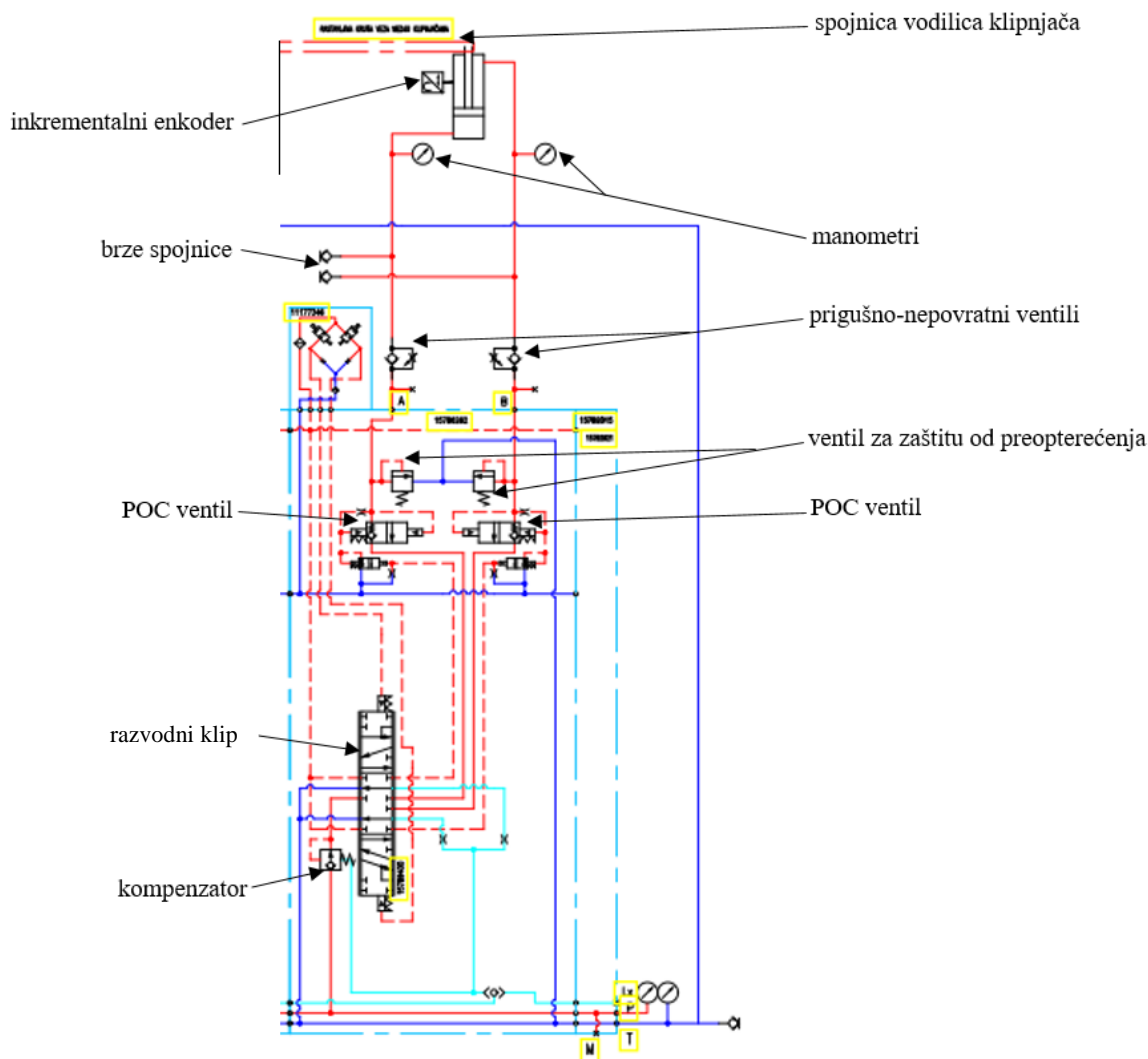
Slika 20. Prikaz treće sekcije PVG 32

Hidraulički akumulator ima svrhu omogućivanja ispitivanja propuštanja ventila za držanje tereta na prvom cilindru ili propuštanja POC ventila na PVBZ sekciji koja pogoni drugi cilindar. Da bismo izvršili ova ispitivanja akumulator spajamo crijevima s brzim spojevima na P ulaz 4/3 ručnog ventila s rasterom, a izlaze A i B ventila spajamo na A i B brze priključke C1 ili C2.

Guranjem ručice na stranu A ili B i držanjem određeni vremenski period, pomakom klipnjače ovih cilindara u određenom vremenu mogu se odrediti propuštanja. Tlak LS_A i LS_B može se proizvoljno postaviti u rasponu od 40 do 160 bar. Druga funkcija ove sekcije je simulacija stvarnog opterećenja prvog cilindra s ventilom za dizanje tereta krutim spajanjem vodilica klipnjača prvog i drugog cilindra. U tu svrhu spajaju se izlazi A i B ove sekcije s ulazima A i B drugog cilindra. Tlak na A i B strani drugog cilindra može se proizvoljno i po potrebi regulirati podešavanjem LS_A i LS_B tlakova na ovoj sekciji. Razvodni klipovi na obje sekcije za pogon cilindara imaju protok od 10 l/min.

3.3.5. Četvrta sekcija PVG32 bloka

Četvrta sekcija je PVBZ sekcija koja u sebi ima upravljive nepovratne ventile i koja ima propuštanja u iznosu manjem od 1 cm³/min. Četvrta sekcija prikazana je slikom 21.



Slika 21. Prikaz četvrte sekcije PVG 32

Već spomenute PVBZ sekcije u nekim situacijama koje nisu sigurnosno toliko zahtjevne mogu biti alternativa ventilima za držanje tereta. Upravlјivost i preciznost PVBZ sekcije u odnosu na sekciju sa ventilima za držanje tereta je razlog da se vrlo često koristi na traktorima i komunalnim vozilima. Na ovoj, ali i na preostalim trima sekcijama nalaze se kompenzatori koji omogućuju konstantan protok neovisno o tome koliko sekcija je istovremeno aktivno, a precizno dijeljenje protoka moguće je ukoliko pumpa dobavlja dovoljnu količinu ulja.

PVBZ sekcija mora imati T_0 galeriju koja služi za rasterećenje POC ventila. Ako se koristi PVBZ sekcija onda i sve PVB sekcije između PVBZ sekcije i PVP sekcije moraju također biti s T_0 galerijom kao i sama PVP sekcija (ulazni modul). Razvodi klip kod ove sekcije je FC s protokom od 10 l/min, a srednji položaji su svi zatvoreni. Ova sekcija kao i ostale sekcije ima ventile za ograničenje tlaka i antikavitacijske ventile, ali nema LS_A i LS_B ventile.

4. PRORAČUN KOMPONENTI SUSTAVA

U sklopu ovoga poglavlja dat će se, kao dio procesa projektiranja sustava, proračuni komponenti sustava.

4.1. Proračun pumpe

Za pravilan odabir pumpe sustava otvorenog kruga potrebno je definirati:

- maksimalni tlak: 170 bar
- broj okretaja: 1410 min^{-1}
- potrebni radni volumen pumpe: $25 \text{ cm}^3/\text{okr}$.
- potrebna količina dobave: 30 l/min
- ulazno vratilo cilindrično s perom $d=0,875''$
- smjer rotacije: desni
- vrsta regulacije: LS
- vrsta prirubnice: SAE-B 2
- priključci T, P, priključak za lekažu/radijalni priključci
- filtracija- $25 \mu\text{m}$ na usisu i $10 \mu\text{m}$ na tlačnom filteru, $10 \mu\text{m}$ na povratnom filteru

Odabrana je pumpa: LR-L-025C-LS-17-20-NN-N-3-K1NF-A6N-PLB

Ova pumpa je odabrana jer je to najmanja LS pumpa od Danfossa.

Tehnički podaci pumpe nalaze se na slici 22.

LR-R-025C-LS-17-20-NN-N-3-K1NF-A6N-PLB-NNN-NNN		
80004488		
unknown		
Frame	LR	L Frame Axial Piston Open Circuit Pump
Rotation	R	Clockwise Rotation
Displacement and Load Life	025C	25 cc/rev - 260 Bar Maximum Rated Pressure
Control Type	LS	PRESSURE COMPENSATED / LOAD SENSING [PC Pressure Range: 100-260 bar, LS Pressure Range: 10-30 bar]
Pressure Compensator Setting	17	170 Bar [2465 psi]
Load Sense Setting	20	20 Bar [290 psi]
Torque Limiter Setting	NN	Not Applicable
Choke Orifice	N	None
Gain Orifice	3	Standard Orifice
Shaft/Aux Pad/Endcap	K1NF	0.875 Inch Straight Key Shaft, No Auxiliary, Axial, Inlet: SAE O-Ring Boss Port (1.875 Inch Threads), Outlet: SAE O-Ring Boss Port (1.3125 Inch Threads), Control Left Side, w/Displacement Limiter
Seal/Front Flange/Hsg Ports	A6N	Single Viton Shaft Seal, SAE-B 2-Bolt Flange, SAE O-Ring Ports
Displacement Limiter	PLB	None, Plugged
Special Hardware	NNN	None
Special Features	NNN	Paint - Black, Tag-Danfoss, Format A

Slika 22. Tehnički podaci pumpe

Za proračun koristimo sljedeće podatke:

- $P_{EM}=5,5 \text{ kW}$
- $n= 1410 \text{ min}^{-1}$
- $\eta_p=0,92$

Maksimalni tlak koji pumpa može ostvariti sa odabranim motorom i pri $V_{pmax}=25 \text{ cm}^3/\text{okr.}$ izvodi se iz sljedećeg izraza:

$$P_{EM} = \frac{10^5 p_{0max} V_p n \frac{1}{60}}{10^6 \eta_p} = \frac{p_{0max} V_p n}{600 \eta_p} \quad (1)$$

iz čega slijedi:

$$p_{0max} = \frac{600 P_{EM} \eta_p}{V_p n} \quad (2)$$

$$Q_{0max} = \frac{0,6 P_{EM} \eta_p}{p_{max}} \quad (3)$$

gdje je:

- p_{0max} – maksimalni tlak pumpe

- P_{EM} - snaga elektromotora
- n - broj okretaja elektromotora
- V_p – radni volumen pumpe
- η_P – stupanj djelovanja pumpe

Izračunom se dobiva maksimalni tlak pumpe:

$$p_{0max} = \frac{600 \cdot 5500 \cdot 0,92}{25 \cdot 1410} = 86,13 \text{ bar} \quad (4)$$

Maksimalna dobava pumpe Q_{0max} dana je sljedećim izrazom:

$$Q_{0max} = V_p n 10^{-3} \eta_v \quad (5)$$

gdje je:

- Q_{0max} -maksimalna količina dobave pumpe
- η_v – volumetrički stupanj djelovanja pumpe

Izračunom se dobiva maksimalna količina dobave pumpe kako slijedi:

$$Q_{0max} = 25 \cdot 1410 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97 = 34,19 \text{ l/min} \quad (6)$$

Količina dobave koju pumpa može dati pri tlaku od 170 bara dana je sljedećim izrazom:

$$Q_{pmax} = \frac{0,6 P_{EM} \eta_p}{p_{max}} \quad (7)$$

gdje je:

- p_{max} – maksimalni tlak
- Q_{pmax} -količina dobave pumpe pri maksimalnom tlaku

Izračunom se dobiva količina dobave pumpe pri tlaku od 170 bar kako slijedi:

$$Q_{pmax} = \frac{0,6 \cdot 5500 \cdot 0,92}{170} = 17,6 \text{ l/min} \quad (8)$$

Tlak koji je u rasponu 120-170 bar koristit ćemo u slučaju da punimo akumulator i tada je potrebno maksimalno 10 l/min. Drugi slučaj je kada simuliramo opterećenje cilindra s ventilima za držanje tereta na strani A cilindra i tada je potrebno 12 l/min i to zadovoljava.

4.2. Proračun cilindra

Proračun se započinje odabirom hoda cilindra. Iz konstrukcijskih razloga odabire se hod cilindra h u iznosu od 500 milimetara. Iz količine dobave pumpe Q_{\max} koja iznosi 34,19 l/min zaključujemo da za istovremeni rad cilindri mogu koristiti protok iznosa 10 l/min, a orbitalni motor 14,19 l/min.

Proračun dimenzije promjera cilindra vrši se na način da se u izračunu uzme u obzir količina protoka koja dolazi u svaki cilindar te vrijeme za koje cilindar prijeđe zadani hod od 500 mm.

Volumen ulja u cilindru V_{cil} dobiva se sljedećim izrazom:

$$V_{cil} = \frac{Q}{60} t \quad (9)$$

gdje je:

- Q – protok ulja koje ulazi u cilindar (odabrano 10 l/min)
- t – vrijeme za koje cilindar prijeđe 500 mm (odabrano 4 s)

Volumen ulja koje ulazi u cilindar iznosi:

$$V_{cil} = \frac{10}{60} 4 = 0,667 \text{ l} = 667 \text{ cm}^3 \quad (10)$$

Površinu klipa cilindra A dobivamo sljedećim izrazom:

$$A = \frac{V_{cil}}{h} \quad (11)$$

gdje je:

- h – hod cilindra

Površina klipa cilindra iznosi:

$$A = \frac{667}{50} = 13,34 \text{ cm}^2 \quad (12)$$

Dimenzija promjera klipa sada se može dobiti sljedećim izrazom:

$$A = \frac{D^2 \pi}{4} \quad (13)$$

odnosno,

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 13,34}{\pi}} = 4,09 \text{ cm} \quad (14)$$

Na osnovi izvršenog proračuna odabiremo promjer cilindra D u iznosu od 40 mm.

Nakon dobivenog promjera cilindra možemo izračunati maksimalnu brzinu klipnjače v_A kada na strani A imamo protok Q u iznosu od 10 l/min, izrazom kako slijedi:

$$Q = v_A A, \quad (15)$$

odnosno,

$$v_A = \frac{Q}{A} = \frac{Q \cdot 1000}{\frac{D^2 \pi}{4}} = \frac{Q \cdot 1000 \cdot 4}{60 \cdot D^2 \cdot \pi} = \frac{10 \cdot 1000 \cdot 4}{60 \cdot 4^2 \cdot \pi} = 13,27 \text{ cm/s} \quad (16)$$

Obzirom na razliku u površini klipa na A i B strani, na strani B trebamo izvršiti ograničenje protoka Q_{maxB} na iznos dan sljedećim izrazom:

$$Q_{maxB} = v_A \cdot A_R = v_A \cdot \frac{(D^2 - d^2)\pi}{4} = 13,27 \frac{(4^2 - 2,5^2)\pi}{4} = 7,65 \text{ l/min} \quad (17)$$

gdje je:

- d – promjer klipnjače (standardno 25 mm)

Maksimalna sila cilindra na strani A, F_{maxA} dana je sljedećim izrazom:

$$F_{maxA} = p_{maxA} \cdot A = 10^5 \cdot 170 \cdot 12,56 \cdot 10^{-4} = 21352 \text{ N} \quad (18)$$

Maksimalna sila cilindra na strani B, F_{maxB} dana je sljedećim izrazom:

$$F_{maxB} = p_{maxA} \cdot A = 10^5 \cdot 170 \cdot 7,654 \cdot 10^{-4} = 13012 \text{ N} \quad (19)$$

Nakon izračunatih sila vrši se izračun iznosa tlaka, p_{maxA} , kojeg u komori A cilindra s ventilima za držanje tereta može stvoriti drugi cilindar kad je on maksimalno opterećen na strani B sa 170 bar. Izračun je dan sljedećim izrazom:

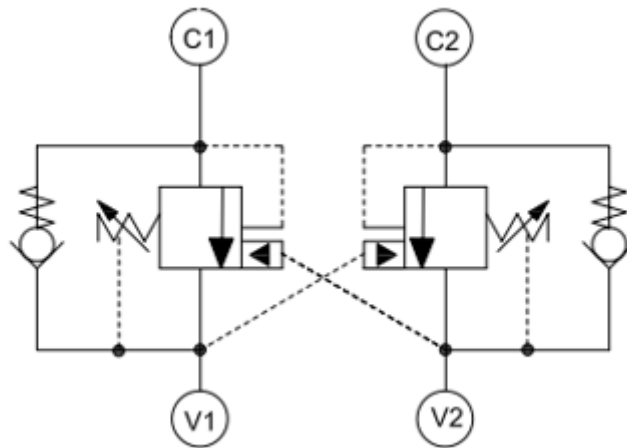
$$p_{maxA} = \frac{F_{maxB}}{A} = \frac{F_{maxB}}{10^5 \cdot A \cdot 10^{-4}} = \frac{F_{maxB}}{10 \cdot A} = \frac{13012}{10 \cdot 12,56} = 103,6 \text{ bar} \quad (20)$$

4.3. Proračun ventila za držanje tereta

Ventili za držanje tereta (*counterbalance valves*) dijele se na jednostruke i dvostruke ventile za držanje tereta. Jednostruki ventili za držanje tereta najčešće se koriste kada teret svojom težinom djeluje uvijek na istu stranu cilindra ili motora (dizalice, vitla, kranovi i slično). Kad se koriste u kombinaciji s motorima sustav mora imati dodatnu kočnicu.

Dvostruki ventili koriste se kod motora, a mogu se koristiti i kod cilindara kad zbog geometrije gibanja u jednoj fazi gibanja teret tlači cilindar, a u jednoj fazi razvlači. Na motore se često montiraju u prirubničkoj izvedbi. Jednostruki ventili se u prirubničkoj izvedbi montiraju na cilindre s jednostranim gravitacijskim opterećenjem. U tom slučaju nemamo cijevi između ventila i cilindra odnosno motora i sigurnost je znatno veća.

Ventili za držanje tereta, čiji je simbol dan slikom 23., funkcioniraju na način da ako se treba otvoriti C_1 strana cilindra, koja je pod teretom L, mora se aktivirati V_2 strana ventila i nariniti tlak otvaranja P koji se množi s pojačanjem u iznosu od 3 da bi se savladao namješteni tlak popuštanja S koji je od 1,3 do 1,5 puta viši od maksimalnog tlaka u normalnom radu sustava. Pojačanja pilot signala su 3:1, 4,5:1, 5:1, 8:1, 10:1, gdje manja pojačanja daju stabilnost procesu spuštanja, a veća pojačanja štede energiju.



Slika 23. Simbol ventila za držanje tereta[6]

Proračun tlaka otvaranja ventila za držanje tereta [6] počinjemo izrazom

$$P = \frac{S - L}{P_R + \frac{1}{C_R}} \quad (21)$$

koji se koristi za slučaj kada teret uvlači cilindar, a za slučaj kada teret izvlači cilindar koristi se izraz:

$$P = \frac{S - L}{P_R + C_R} \quad (22)$$

Uz izraz:

$$C_R = \frac{A_B}{A_B - A_R} \quad (23)$$

gdje je:

- P [bar] – pilot tlak potreban za otvaranje ventila za držanje tereta
- L [bar] – tlak u A ili B komori cilindra koji je posljedica tereta
- P_R – pilot pojačanje
- A_B [cm²] – površina cilindra
- A_R [cm²] – površina presjeka klipnjače
- S [bar] – namješteni tlak ventila koji je 1,3 do 1,5 veći od tlaka od opterećenja

Koristeći navedene izraze dobivamo tlak potreban za otvaranje ventila za držanje tereta u slučaju kada teret uvlači cilindar. Dobiveni tlakovi vidljivi su u tablici 1.

Tablica 1. Tlak otvaranja ventila za držanje tereta u slučaju uvlačenja cilindra

L [bar]	P_R	C_R	S[bar]	P[bar]
80	3	1,64	120	11,08
90	3	1,64	120	8,31
50	3	1,64	120	19,39
35	3	1,64	120	23,55
80	5	1,64	120	7,13
90	5	1,64	120	5,35
50	5	1,64	120	12,48
35	5	1,64	120	15,15

Iz ovog proračuna vidljivo je da što je teret manji, veći je potrebni pilot tlak kako bi se ventil za držanje tereta otvorio i počeo spuštanje. Osim toga, vidljivo je da se kod većih pojačanja dobiveni tlakovi za različite terete dosta blizu jedan drugog, što može dovesti do nestabilnosti i vibracija u fazi spuštanja. S energetskeg aspekta niža pojačanja manje su energetske učinkovite, no ako je aspekt sigurnosti važan, onda se ona koriste.

Zatim smo dobili tlak otvaranja ventila za držanje tereta u slučaju izvlačenja cilindra. Dobiveni tlakovi dani su tablicom 2.

Tablica 2. Tlak otvaranja ventila za držanje tereta u slučaju izvlačenja cilindra

L [bar]	P_R	C_R	S[bar]	P[bar]
80	3	1,64	120	8,62
90	3	1,64	120	6,47
50	3	1,64	120	15,09
35	3	1,64	120	18,32
80	8	1,64	120	4,15
90	8	1,64	120	3,11
50	8	1,64	120	7,26
35	8	1,64	120	8,82

Iz provedenih proračuna vidljivo je da je u slučaju izvlačenja cilindra pilot tlak P za ista pojačanja i iste terete manji jer je u ovom slučaju veća površina na koju djeluje tlak nego što je to slučaj kod uvlačenja cilindra kada se ta površina umanjuje zbog klipnjače.

Odabir ventila za držanje terete prikazan je u poglavlju u kojem je prikazan odabir komponenti sustava.

5. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE OSTALIH KOMPONENTI SUSTAVA

U ovom poglavlju će se prikazati tehničke karakteristike odabranih komponenti sustava koristeći se kataloškim podacima proizvađača komponenti.

5.1. Elektromotor

Elektromotor koji je odabran za ovaj eksperimentalni sustav je trofazni asinkroni motor koji je prikazan slikom 24.



Slika 24. Elektromotor[7]

Tehničke karakteristike trofaznog asinkronog motora su kako slijedi:

- Snaga elektromotora: 5,5 kW
- Brzina vrtnje: 1410 min^{-1}
- Napon: 380/660 V
- Frekvencija: 50 Hz
- Broj polova: 4

5.2. Orbitalni motor

Orbitalni motori vrsta su motora koji pretvaraju hidrauličku energiju, koja potječe iz ulja koje u sustavu struji pod tlakom, u moment. Princip rada temelji se na pretvorbi hidrauličke energije fluida koji struji između zupčaničkog para kod kojeg je vanjski zupčanik fiksni, a unutarnji je pokretan. Osim zupčaničkih parova, dio orbitalnog motora je kardansko vratilo te izlazno vratilo kojim se onda dobiveni moment može prenositi dalje. Osnovne značajke koje karakteriziraju orbitalne motore su:

- konstantan radni moment za široki raspon brzina vrtnje

- miran rad kroz cijeli raspon brzina vrtnje orbitalnog motora
- visoki startni moment
- visoka učinkovitost
- dug vijek trajanja orbitalnih motora u teškim uvjetima rada
- robustan i kompaktan dizajn
- mogućnost rada s različitim vrsta hidrauličkih ulja[8]

Odabrani orbitalni motor koji je dio prve sekcije eksperimentalnog postava je OMR X 100 orbitalni motor proizvođača Danfoss. Prikaz orbitalnog motora OMR X 100 dan je slikom 25.



Slika 25. Orbitalni motor[9]

Tehničke karakteristike odabranog orbitalnog motora OMR X 100 su:

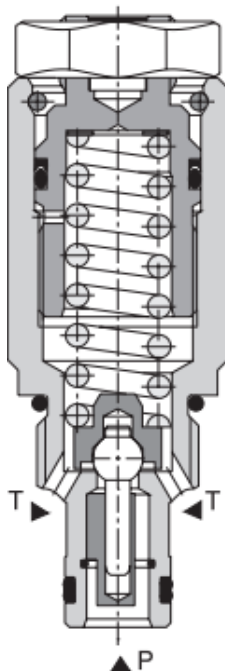
- radni volumen: $99,8 \text{ cm}^3$
- maksimalna brzina vrtnje: 600 min^{-1}
- maksimalni moment: 275 Nm
- maksimalni protok ulja: 60 l/min

5.3. Ventili

5.3.1. Ventil za ograničenje tlaka

Ventil za ograničenje tlaka ima funkciju ograničavanja tlaka u sustavu na neku maksimalnu vrijednost. Kada je tlak u hidrauličkom vodu manji od maksimalne vrijednosti, kroz ventil za ograničenje tlaka fluid ne teče. Međutim, kada tlak naraste na maksimalnu dopuštenu

vrijednost, dolazi do otvaranja ventila i propuštanja viška fluida prema spremniku uz održavanje maksimalnog tlaka u sustavu. Odabrani ventil za ograničenje tlaka je naziva SR1A-A2/L10S proizvođača Argo Hytos. Odabrani ventil prikazuje slika 26.



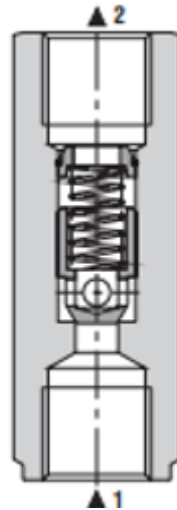
Slika 26. Ventil za ograničenje tlaka[10]

Tehničke specifikacije ventila za ograničenje tlaka su[10]:

- Maksimalni tlak: 100 bar
- Maksimalni protok: 20 l/min
- Dopuštena temperatura: od -20 °C do 80 °C

5.3.2. *Nepovratni ventil*

Nepovratni ventil ima ulogu da u jednom smjeru omogući strujanje fluida, dok u drugom smjeru fluid ne može strujati.[11] Karakteristike ovih ventila po kojima ih razlikujemo su maksimalni tlak, maksimalni protok, dopuštena temperatura ulja. Ventil koji je odabran je oznake VJ 3-08-005-G1 proizvođača Argo Hytos i prikazan je na slici 27.



Slika 27. Nepovratni ventil[12]

Tehničke karakteristike nepovratnog ventila su [12]:

- Maksimalni tlak: 320 bar
- Maksimalni protok: 40 l/min
- Dopuštena temperatura ulja: od -30 °C do 100 °C

5.3.3. Prigušno nepovratni ventil

Prigušno nepovratni ventil komponenta je koja uzrokuje prigušenje u jednom smjeru gibanja fluida, dok je u drugom smjeru gibanje fluida neprigušeno. Odabran je prigušno-nepovratni ventil oznake STU02 proizvođača Hydronit. Prikaz odabranog ventila dan je slikom 28.



Slika 28. Prigušno-nepovratni ventil[13]

Specifikacije prigušno nepovratnog ventila su[13]:

- Maksimalni protok: 30 l/min

- Maksimalni tlak: 400 bar
- Veličina priključka: 3/8"

5.3.4. Ručno upravljani 4/3 razvodnik

Funkciju usmjeravanja fluida u hidrauličkom krugu vrše razvodnici. Njihova oznaka tvori se unošenjem broja priključaka i broja razvodnih položaja. Odabrani 4/3 ručno upravljani razvodnik ima 4 priključka, P (priključak na tlačni vod), A i B (radni priključci) i T (priključak na spremnik). U srednjem položaju priključci A, B, i T su povezani. Odabran je razvodnik RPR3-063Y15/A1 proizvođača Argo Hytos kojeg prikazuje slika 29.



Slika 29. 4/3 ručno upravljani razvodnik[14]

Odabrani razvodnik ima sljedeće karakteristike[14]:

- Maksimalni protok: 80 l/min
- Maksimalni tlak na P, A, B priključcima: 350 bar
- Maksimalni tlak na T priključku: 100 bar
- Dopuštena temperatura ulja: od -30 °C do 100 °C

5.3.5. Ventil za držanje tereta

Ventil za držanje tereta komponenta je koja dopušta strujanje fluida prema aktuatoru kroz nepovratni ventil, dok strujanje iz aktuatora ne dopušta sve dok tlak ne naraste na maksimalnu vrijednost namještenu na ventilu za ograničenje tlaka ili dok tlak pilot ulja ne naraste dovoljno da se otvori ventil za ograničenje tlaka te dopusti fluidu da struji iz aktuatora preko ventila za ograničenje tlaka. Odabran je ventil naziva CP 448-1-B-3B-E-B-XXX-3.0-040 proizvođača Comatrol. Ventil za držanje tereta prikazan je slikom 30.



Slika 30. Ventil za držanje tereta[15]

Tehničke karakteristike ventila za držanje tereta su[15]:

- maksimalni tlak: 350 bar
- maksimalni protok: 20 l/min

5.4. Filteri

5.4.1. Tlačni filter

Tlačni filter koji se postavlja u tlačni vod sustava odabran je od proizvođača Argo Hytos. Tlačne filtere razlikujemo po nominalnom protoku, finoći filtera izraženoj u mikrometrima, dozvoljenom radnom tlaku, dozvoljenim radnim temperaturama. Oznaka odabranog tlačnog filtera je HD 037-156ED8 i prikazan je slikom 31.



Slika 31. Tlačni filter[16]

Tehničke specifikacije odabranog tlačnog filtera su[16]:

- Nominalni protok: 40 l/min
- Finoća filtera: 10 μm
- Dozvoljeni radni tlak: 0-300 bar
- Dozvoljena temperatura rada: -30 °C do 120 °C (kratkotrajno -40 °C do 120 °C)

5.4.2. Povratni filter

Povratni filter je filter koji se nalazi u povratnom vodu sustava. Po karakteristikama povratne filtere razlikujemo po nominalnom protoku, finoći filtera, dozvoljenom tlaku rada, dozvoljenoj temperaturi rada. Odabran je povratni filter oznake E072-168EV250 proizvođača Argo Hytos.

Tehničke specifikacije odabranog povratnog filtera su[17]:

- Nominalni protok: 70 l/min
- Finoća filtera: 10 μm
- Dozvoljeni radni tlak: 10 bar
- Dozvoljena temperatura rada: -30 °C do 120 °C (kratkotrajno -40 °C do 120 °C)

Povratni filter prikazan je slikom 32.



Slika 32. Povratni filter[17]

5.4.3. Uisni filter

Uisni filter nalazi se u usisnom vodu pumpe te je važan element sustava jer sustav, a naročito pumpu, štiti od nečistoća koje mogu potjecati iz proizvodnje komponenti sustava, punjenja sustava uljem i slično. Uisne filtere razlikujemo po karakteristikama nominalnog protoka finoće filtera, dozvoljene temperature rada. Oznaka odabranog usisnog filtera je AS040-01 i prikazan je slikom 33.

Tehničke specifikacije odabranog usisnog filtera su[18]:

- Nominalni protok: 60 l/min
- Finoća filtera: 100 μm
- Dozvoljena temperatura rada: -30 °C do 120 °C (kratkotrajno -40 °C do 120 °C)



Slika 33. Uisni filter[18]

6. NADOGRADNJA SUSTAVA

6.1. Opis nadogradnje sustava

Faza nadogradnje sustava obuhvatit će ugradnju na sustav sljedećih komponenti:

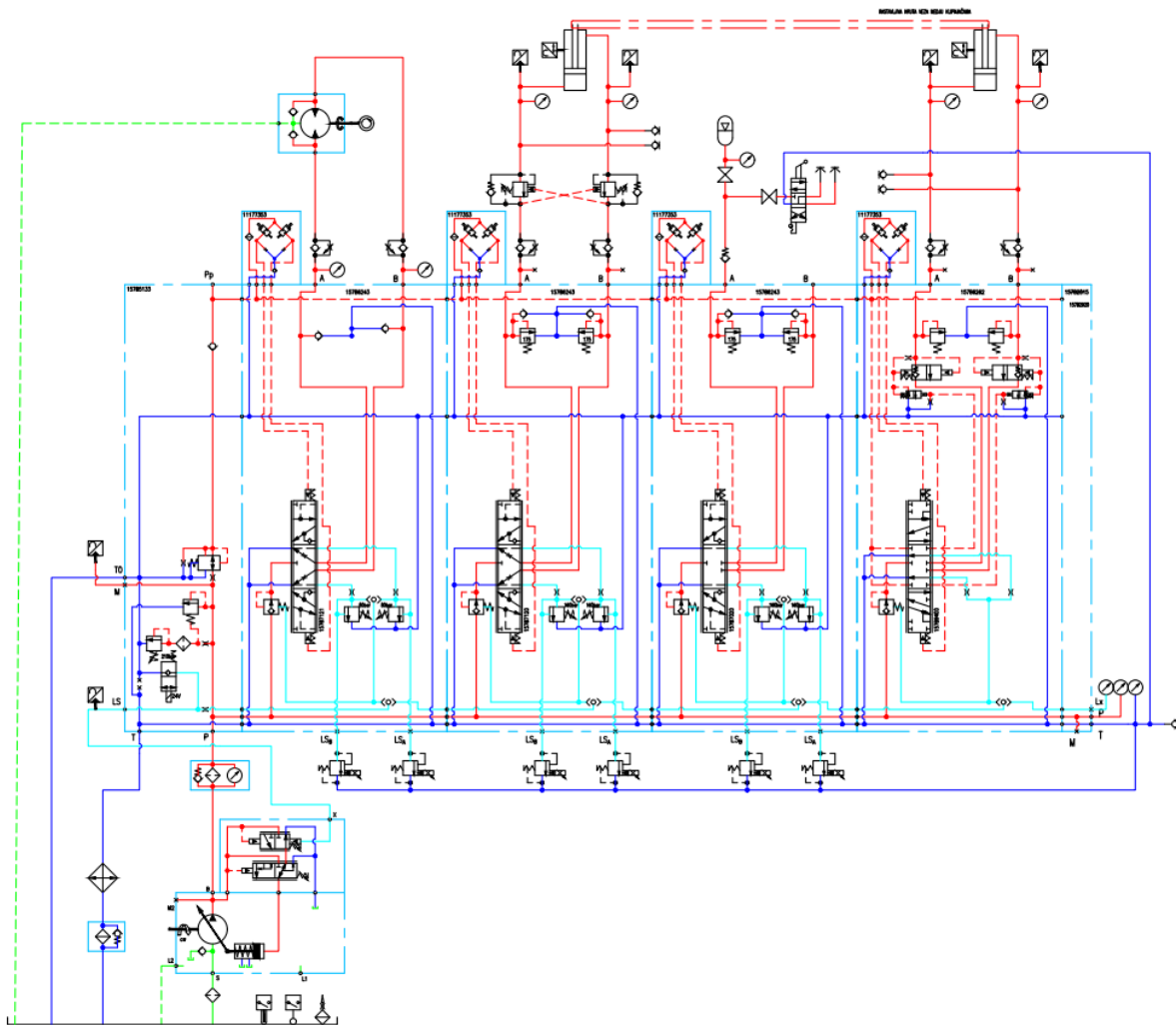
- senzori tlaka tvrtke SUCO tip 0710-252-41-B-002 (10-250 bar) priključeni paralelno s manometrima
- 6 proporcionalnih regulatora tlaka za regulaciju LS_A i LS_B tlaka na prve tri sekcije PVG32 ventila od tvrtke ARGO HYTOS- SR1P2-A2/H-21-24-E1-A za regulaciju tlaka (0-210 bar)
- inkrementalni enkoder na vratilu orbitalnog motora
- inkrementalni enkoderi s zupčastim remenjem za mjerenje pomaka klipnjača na prvom i drugom cilindru
- PLUS+1 Danfoss *software*
- 50 pinski kontroler Danfoss MC050
- *display* za unošenje podataka DP 250

U ovoj konfiguraciji moći će se izvoditi programirana gibanja, najprije svake osi pojedinačno, gdje će se testirati točnost i ponovljivost pozicioniranja uz mijenjanje brzine (protoka) ili opterećenja koja ćemo simulirati prigušno nepovratnim ventilima.

U sljedećoj fazi bit će moguće istovremeno mijenjati i protok i opterećenje te pratiti utjecaj na pozicioniranje.

Zatim će biti omogućeno paralelno gibanje dvije osi istovremeno (cilindar prvi i drugi) i pri tome praćenje usklađenosti pomaka. U ovoj fazi će se moći definirati protok, tj. brzina do koje je točnost zadovoljavajuća. Ono što je također mogućnost nadograđenog sustava je i praćenje rada sustava korištenjem negativne povratne veze. Na taj način će biti omogućeno definirati protoke (brzine) do kojih su točnosti bolje nego kod procesa upravljanja, odnosno bez povratne veze, što je u korelaciji s brzinama otvaranja i zatvaranja ventila. Mogućnosti ispitivanja dinamičkih svojstava i značajki sustava bit će značajno veće kad u sustav bude implementiran 8-kanalni uređaj za mjerenje protoka, tlaka u šest mjernih točaka i temperature što bi predstavljalo treću, odnosno posljednju fazu nadogradnje sustava, koja će omogućiti pohranjivanje rezultata na računalo i njihovu analizu.

Prikaz nadogradnje sustava dan je slikom 34.



Slika 34. Prikaz druge faze izgradnje sustava

6.2. Tehnički podaci komponenti za nadogradnju sustava

Inkrementalni enkoder kojim ćemo iz okreta remenice dobiti kao izlaz poziciju cilindra, odabran je od proizvođača Baumer. Model inkrementalnog enkodera je EIL580SC10.5LN500A. Odabrani inkrementalni enkoder prikazan je na slici 35.



Slika 35. Inkrementalni enkoder[19]

Osnovne karakteristike ovog enkodera su[19]:

- vrsta inkrementalnog enkodera: optički
- veličina osovine: ϕ 10 mm
- promjer prirubnice: ϕ 58 mm
- broj impulsa po okretaju: 512
- napon napajanja: 8-30 V DC

Sljedeća komponenta koju ćemo uvesti u sustav u procesu nadogradnje su tlačni pretvarači, komponente koje pretvaraju hidraulički tlak u električni signal, naponski ili strujni. Sastavni dio tlačnih pretvarača je ćelija za mjerenje tlaka koja ima na sebi membranu koja je izložena tlaku koji mjerimo. Na navedenoj membrani nalaze se četiri otpornika koji tvore Wheatstone-ov most. Vrijednosti otpora na otpornicima mijenjaju se proporcionalno s tlakom kojim je opterećena membrana. Pojačani napon mosta vodi se na mikrokontroler, a u posljednjoj fazi se vrši pretvorba signala u odgovarajući oblik za izlazne signale koji je od 4 do 20 mA ili od 0 do 10 V. Tehničke karakteristike tlačnog pretvarača oznake 0710-252-41-B-002, proizvođača Suco su [20]:

- maksimalni tlak: 250 bar
- napon napajanja: 12-32 V
- izlazni signal: 0-10 V
- vrijeme odziva: 0,002 s

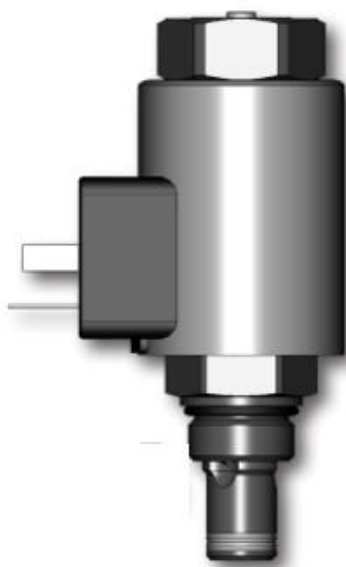
Izgled tlačnog pretvarača prikazan je slikom 36.



Slika 36. Tlačni pretvarač[20]

Nakon tlačnih pretvarača navest ćemo tehnički opis proporcionalnog ventila za ograničenje tlaka koji je komponenta koja unutar određenog raspona, određenog karakteristikama komponente, ograničava tlak u hidrauličkom sustavu proporcionalno električnom signalu na ulazu.

Ovu komponentu karakterizira mala histereza i visoka točnost pri ograničavanju tlaka u hidrauličkom krugu. Odabrana je komponenta oznake SR1P2-A2/H12-24E2V-A, proizvođača Argo Hytos. Proporcionalni ventil za ograničenje tlaka prikazan je na slici 37.



Slika 37. Proporcionalni ventil za ograničenje tlaka[21]

Tehničke karakteristike proporcionalnog ventila za ograničenje tlaka su [21]:

- maksimalni radni tlak: 210 bar
- napon napajanja: 24 V DC
- maksimalni protok: 1.5 l/min
- dozvoljena temperatura ulja: od -30°C do 80°C

Nadogradnja eksperimentalnog postava uključuje i implementaciju *software*-a PLUS+1 koji će omogućiti stvaranje upravljačkih programa za ovaj postav. U sklopu *software*-a je moguće izgraditi, prilagoditi te optimizirati elektrohidraulički sustav. Osim *software*-a PLUS+1 potrebno je ugraditi i kontroler MC050 te ekran za unošenje i prikaz podataka.

Karakteristike kontrolera, MC050, prikazanog slikom 38., su [22]:

- broj pinova: 50
- napon napajanja: od 9 do 36 V DC
- broj ulaza:24
- broj izlaza:14



Slika 38. Kontroler MC050[22]

Uređaj za unos i prikaz podataka (*display*) odabran je od proizvođača Danfoss. Oznaka odabranog *display*-a je DM430E-0-0-1-0. Odabrani *display* prikazan je slikom 39.



Slika 39. Display DM430E-0-0-1-0[23]

7. ZAKLJUČAK

Ovim radom prvo se prikazala struktura otvorenog hidrauličkog kruga. Proces projektiranja sastojao se od provedbe proračuna te od procesa odabira komponenti za eksperimentalni postav otvorenog hidrauličkog kruga. Cilj pri projektiranju eksperimentalnog postava bio je omogućiti simulaciju opterećenja te analizu pojava u hidrauličkom krugu. Simulacija opterećenja na ovom projektiranom sustavu omogućena je na cilindrima čije se klipnjače mogu kruto spojiti, kao što je vidljivo na 3D prikazu eksperimentalnog postava napravljenom u *software*-u CATIAV5. Osim toga, sustav je prikazan shematski te je razdvojen po sekcijama te je svaka sekcija posebno objašnjena. Po načinu opterećenja, cilindre u ovom postavu, čije su klipnjače kruto spojene, moguće je opterećivati na način karakterističan za spuštanje tereta. Na cilindrima kada klipnjače nisu kruto spojene te na orbitalnom motoru simulaciju opterećenja postiže se prigušenjem u povratnom vodu. Upravo je mogućnost simulacije opterećenja vrlo značajna jer već na ispitnom stolu omogućuje da se komponente testiraju u uvjetima opterećenja sličnima stvarnim te time dođe do zaključaka o ponašanju komponenti i hidrauličkim fenomenima u otvorenom krugu. Kako bi se mogla provoditi analiza pojava u eksperimentalnom postavu, proces projektiranja obuhvatio je nadogradnju sustava sa sensorima tlaka koji imaju mjesto paralelno s manometrima. Nadogradnja se nastavila odabirom šest proporcionalnih regulatora tlaka na tri sekcije PVG32 čime je omogućeno dinamičko mijenjanje maksimalnih tlakova na izlazima odgovarajućih sekcija. Osim toga u sustav treba implementirati *software* PLUS+1 kojim će se moći stvarati upravljački programi. S navedenim *software*-om kompatibilan je odabrani kontroler te *display* koji korisniku služi za unos i prikaz podataka. Posljednja komponenta koja je dio procesa nadogradnje sustava je 8-kanalni uređaj kojim će se moći vršiti mjerenje protoka, tlaka u šest mjernih točaka te temperature. Nakon procesa nadogradnje moći će se mjerene veličine pohranjivati na računalo, a rezultati željenih mjerenja će se moći analizirati te donositi zaključke o mjerenim pojavama.

LITERATURA

- [1] Bibus Zagreb, edukativni materijali
- [2] Gear Pumps, <https://assets.danfoss.com/documents/149878/AI299873918277en-000101.pdf> (pristupljeno 11.6.2022.)
- [3] Axial Piston Open Circuit Pumps, <https://assets.danfoss.com/documents/195974/BC152886483703en-001201.pdf> (Pristupljeno:11.6.2022.)
- [4] PVG32 Proportional Valve Group, <https://assets.danfoss.com/documents/203490/BC152886483664en-001503.pdf> (pristupljeno 11.6.2022.)
- [5] Joysticks, https://www.bibus.hr/fileadmin/editors/countries/bizag/Katalozi/Hidraulika/Mobilna_elektronika/Joystick_Danfoss_PVRES_i_PVREL.pdf (pristupljeno 14.6.2022.)
- [6] Counterbalance and Pilot-to-Open Check Cartridges, https://www.sunhydraulics.com/sites/default/files/media_library/tech_resources/TT_US_Ctrbal_POCK_JAN2021.pdf pristupljeno(14.6.2022.)
- [7] WEG trofazni asinkroni elektromotor, https://www.surpluscenter.com/productImages/image.axd/i.10-3269/a.2/w.1000/h.1000/7.5+HP+230+460+Volt+AC+3Ph+1765+RPM+WEG+TEFC+213T+Motor_L.jpg (pristupljeno 15.6.2022.)
- [8] Orbitalni motor OMP-X-100, <https://whitedriveproducts.com/wp-content/uploads/2021/06/Orbital-Motors-Type-OMP-X-and-OMR-X-Technical-Information.pdf> (pristupljeno 15.6.2022.)
- [9] Orbitalni motor OMP-X-100, <https://pim.hydraspecma.com/Perfion/Image.aspx?id=8ab01a76-c149-42ee-9da4-96c7d9235c3c&size=1600x1200&format=jpg&fit=exact> (pristupljeno 15.6.2022.)
- [10] Pressure relief valve, https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/Datasheet_SR1A-A2_ha5063_EN.pdf (pristupljeno 15.6.2022.)
- [11] Petrić J.: Hidraulika, Zagreb, 2012
- [12] Check Valve, https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/Datasheet_VJ3_ha5009_EN.pdf (pristupljeno 15.6.2022.)

- [13] Prigušno-nepovratni ventil,
https://www.bibus.hr/fileadmin/editors/countries/bizag/Katalozi/Hidraulika/Mali_hidraulicki_agregati/Mali_hidraulicki_agregati_HYDRONIT.pdf (pristupljeno 15.6.2022)
- [14] 4/3 Directional Control Valve,
https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/Datasheet_RPR3-06_ha4004_EN.pdf (pristupljeno 16.6.2022.)
- [15] Ventil za držanje tereta,
https://www.bibus.hr/fileadmin/editors/countries/bizag/Katalozi/Hidraulika/Ventili/Ventili_za_drzanje_tereta/Ventili_za_drzanje_tereta_COMATROL.pdf (pristupljeno 16.6.2022.)
- [16] High Pressure Filters, https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/Datenblatt_HD_037_HD_057_HD_077_HD_097_40_40_EN_US_1121.pdf (pristupljeno 16.6.2022.)
- [17] Return Filters, https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/Datasheet_E043_E072_20.20_EN_US.pdf (pristupljeno 16.6.2022.)
- [18] Suction Filters, https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/Datasheet_AS010_AS025_AS040_AS060_AS080_AS100_AS150_10.10_EN_US.pdf (pristupljeno 16.6.2022.)
- [19] Incremental Encoders, https://www.baumer.com/medias/_secure_/Baumer_EIL580-SC_EN_20201015_DS.pdf?mediaPK=9004520112158 (pristupljeno 18.6.2020.)
- [20] Pressure Transmitters,
https://www.bibus.hr/fileadmin/editors/countries/bizag/Katalozi/Mehatronika/Suco_tla%20Dni_prekida%20Di_i_senzori/SUCO-Pressure-Monitoring.pdf (pristupljeno 18.6.2022.)
- [21] Proportional Pressure Relief Valve,
https://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/Datasheet_SR1P2-A2_ha5122_EN.pdf (pristupljeno 18.6.2022.)
- [22] PLUS+1 Controllers,
<https://assets.danfoss.com/documents/150238/AI152986480926en-000203.pdf> (pristupljeno 18.6.2022.)

- [23] Display, <https://assets.danfoss.com/documents/56424/BC288935783740en-000202.pdf>
(pristupljeno 18.6.2022.)

PRILOZI

I. CD-R disc