

# Puštanje u pogon hidraulične linije

---

**Bitić, Besim**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:630102>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-16**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Odjel za Tehničke studije



**BESIM BITIĆ**

**PUŠTANJE U POGON HIDRAULIČNE LINIJE**

Završni rad

Pula, rujan, 2020.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Odjel za tehničke studije

**BESIM BITIĆ**

**PUŠTANJE U POGON HIDRAULIČNE LINIJE**

Završni rad

**JMB: 0233002421, izvanredni student**

**Studijski smjer:** Proizvodno strojarstvo

**Predmet:** Hidraulika i pneumatika

**Znanstveno područje:** Tehničke znanosti

**Znanstveno polje:** Strojarstvo

**Znanstvena grana:** Proizvodno strojarstvo

Voditelj: doc.dr.sc. Marko Kršulja

Pula, rujan, 2020.

doc. dr. sc. Marko Kršulja

(Ime i prezime nastavnika)

Hidraulika i pneumatika

(Predmet)



Odjel za tehničke studije

**Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**  
**ODJEL ZA TEHNIČKE STUDIJE**  
**ZADATAK TEME ZAVRŠNOGA RADA**

Pristupniku

Besimu Bitiću

MBS: 0233002421

Studentu stručnog studija Odjela za tehničke studije, izdaje se zadatak za završni rad – tema završnog rada pod nazivom:

**NASLOV**  
**PUŠTANJE U POGON HIDRAULIČNE LINIJE**

Sadržaj zadatka:

Opisati pogon hidraulične linije. Definirati faze puštanja u rad i propisane procedure puštanja u pogon hidrauličnog postrojenja. Definirati strojeve i elemente koji sudjeluju u procesu slaganje strukturalnih čeličnih profila. Objasniti regulacijsku tehniku za slaganje čeličnih profila koristeći se nacrtnom metodom. Opisati funkcije strojeva te prikazati dijagrame pumpi te principe njihovog rada i uporabe u hidrauličkoj liniji.

Rad obraditi sukladno odredbama Pravilnika o završnom radu Sveučilišta u Puli.

**Izvanredni student, proizvodno strojarstvo**

(status, smjer)


Datum: 01.04.2020.

Potpis nastavnika

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Besim Bičić, kandidat za prvostupnika inženjera strojarstva ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljeni način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

Besim Bičić 

U Puli, 8.9.2020.



## IZJAVA O KORIŠTENJU AUTORSKOG DJELA

Ja, Besim Bičić dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj Završni rad pod nazivom puštanje u pogon hidraulične linije

koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 8.9.2020.

Potpis

## **SAŽETAK**

U radu je opisana generalna procedura puštanja u pogon, uz opis specifičnih koraka pripreme i puštanja u pogon hidrauličnih linija zaslužnog za pokretanje strojeva/konstrukcija za slaganje strukturalnih čeličnih profila uz ostale komponente hidraulične linije i regulacijske tehnike (ventili i senzori) sa objašnjenjem razloga postavljanja istih od hidraulične jedinice do hidrauličnog cilindra. Naglasak u ovom završnom radu bit će na oleohidrauliku (uljnu) uz kratka objašnjenja pneumatske linije. Metoda korištena za puštanje u pogon, kao i za opis procesa u ovom radu je nacrtna i funkcionalni opis rada linije.

**Ključne riječi:** puštanje u rad, hidraulika, pneumatika

## COMMISSIONING OF HYDRAULIC LINE(S)

### SUMMARY

In this thesis is generally described commissioning procedure with description of specific steps for start-up and commissioning of hydraulics line(s) responsible for machine/construction movements used for stacking structural steel profiles including all components of hydraulic line and control techniques (valves, switches and sensors) explaining the reasons and tasks for presence of each component from hydraulic unit till the working cylinder. Focus in this thesis will be on oil hydraulics with short description and explanation of pneumatic lines. Method used for commissioning, as well as process description in this thesis are drawings and functional description.

**Key words:** commissioning, hydraulics, pneumatics



## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OSNOVE POKRETANJA HIDRAULIČNE LINIJE.....	4
2.1. Puštanje u rad (eng. Commissioning) .....	4
2.2. Faze puštanja u rad.....	6
2.2.1. Konstrukcija .....	7
2.2.1. Revizija i ažuriranje dokumentacije sigurnosti na radu .....	8
2.2.2. Revizija registra projektnih rizika.....	8
2.2.3. Planiranje puštanja u rad.....	9
2.2.4. Mehaničko dovršavanje .....	11
2.2.5. Faza prije puštanja u pogon (pre-commissioning) sistema, komponenti i opreme	14
2.2.6. Puštanje u rad/pogon - commissioning .....	17
2.2.7. Sigurnosni pregled prije operativnog startanja .....	21
2.2.8. Pokretanje „startup“ pogona tvornice .....	21
2.2.9. Početni rad pogona.....	22
2.2.10. Test performansi postrojenja - atestiranje.....	22
2.2.11. Faza nakon puštanja u rad (post-commissioning).....	24
2.3. Prikaz toka energije kroz hidraulički sustav i hidrauličke pumpe .....	24
2.3.1. Klipne pumpe.....	27
2.3.2. Hidraulični cilindri.....	28
2.3.3. Razvodnici .....	30
3. Postavljanje hidrauličke linije .....	33
3.1. Hidraulična jedinica .....	33
3.2 Hidraulično pokretanje magnetnih glava za slaganje.....	39
3.3 Uloga pneumatike u slaganju materijala .....	44
4. KRITIČKI OSVRT I PROBLEMI KOJI MOGU NASTATI ZBOG NEADEKVATNOG PUŠTANJA U RAD.....	50
ZAKLJUČAK .....	52
LITERATURA.....	54
POPIS SLIKA: .....	55
POPIS TABLICA:.....	56
POPIS UPOTRIJEBLJENIH OZNAKA, SIMBOLA I JEDINICA SI.....	57
PRILOZI: .....	58

## 1. UVOD

U ovome radu će se opisati i prezentirati procesi neophodni za puštanje u pogon, te uloga puštanja u pogon hidraulične i pneumatske linije. Iako postoji više vrsta hidrauličnih i pneumatskih krugova, u ovom radu će specifično biti opisani postupci puštanja u pogon za liniju koja je projektom definirana i služi za slaganje strukturalnih čeličnih profila (U, H, C, I...) naziva „eng. *stacker*“ na kojima je autor završnog rada sudjelovao i radio.

Kod samog puštanja u pogon za svaki dio linije postoje određene procedure i koraci koji se moraju slijediti da bi sačuvali prije svega sigurnost na radu čime se sprječavaju ozljede i/ili fatalne posljedice na ljude, kao i oštećenja opreme i strojeva, čime se mogu znatno produžiti projektom definirani rokovi zbog nabavke i ugradnje novih dijelova.

Pošto je puštanje u pogon, projektni tip proizvodnje, za sve aktivnosti koje su predefinirane prije početka samog projekta se koristi „eng. *Gantt-chart*“ – gantogram, koji je jedan od glavnih alata voditelja projekta za praćenje i kontrolu implementacije projekta, dok inženjerski tim daje svoje ulazne informacije o implementaciji preko udarnih „eng. *punch*“ lista, voditelj puštanja u rad mora imati uvid u oba dokumenta koja moraju biti usklađena da se prati razvoj projekta.

Također je bitno naglasiti da za puštanje u rad mora biti angažirano stručno osoblje koje ima znanja i iskustva iz područja strojarstva i mehatronike u suradnji sa stručnjacima iz elektrotehnike, elektronike i industrijske automatike.

Neki od čestih problema koji se javljaju tokom puštanja u rad će biti također kratko opisani u ovom radu zbog činjenice da se sa njima možemo susresti gotovo na svakom projektu, nažalost, dobar dio problema je uzrokovan zbog nepotpune ili nedovoljno dobro izvedene montaže, a koji znatno mogu usporiti uspješno puštanje u rad kao i propusti u procedurama koje je neophodno slijediti, a bit će opisane u prvom dijelu rada.

### 1.1. Hipoteza rada

Osnovna pretpostavka, te hipoteza ovog rada je da adekvatno puštanje u rad može biti izvršeno, jedino ako je angažiran stručan tim ljudi koji slijedi standardne procedure

puštanja u rad, čije se aktivnosti kontroliraju pomoću udarnih listi (*eng. punch lists*) i gantograma (*eng. Gantt-chart*), čiji su primjeri priloženi u ovom radu.

## **1.2. Predmet istraživanja**

Predmet istraživanja ovog rada je pogon hidraulične linije za slaganje metalnih konstrukcija u tvrtci „VIZAG STEEL, Vishakapatnam, Indija“ na kojoj je autor bio angažiran preko tvrtke „DANIELI-SYSTECH d.o.o.“. Istraženo je na koji način i kako se može efikasno pustiti u pogon hidraulični i pneumatski dio postrojenja koji igra glavnu ulogu u pokretanju strojeva i konstrukcijskih komponenti, koje kasnije obavljaju svoju zadaću nakon završnih podešavanja i sinkronizacijom sa ostalim pogonskim dijelovima strojeva i konstrukcija. U osnovi hidrauličke linije se sastoje od niza pumpi i cijevi gdje pumpe prenose tekućinu iz rezervoara u hidraulički sustav. Tekućine su podvrgnute visokim tlakovima te djeluju na šipke i klipove u hidrauličkim cilindrima te se na taj način ostvaruje hod cilindra. Svaki hod cilindra pretvara snagu tekućine (pritisak) u rad (mehanička sila). U ovome radu istražiti će se elementi i problemi uključeni s puštanjem u pogon hidrauličke linije.

## **1.3. Problem istraživanja**

Problem istraživanja je zastupljen čestim kvarovima uzrokovanim nepravilnom upotrebom procedura pokretanja hidrauličke linije. Nepoznavanje osnovnih elemenata održavanja i sekvenci puštanja u pogon pojedinih dijelova može dovesti do zastoja, loma komponenti i ozljeda na radu. Osnovni elementi hidrauličkog sustava jesu glavne komponente poput rezervoara, pumpe, ventila i aktuatora (motor, cilindar, itd.). Svaka komponenta je potencijalno usko grlo gdje zbog visokih tlakova ili nepravilnih spojeva može doći do problema u radu hidrauličke linije.

## **1.4. Ciljevi rada**

Osnovni ciljevi u ovome radu jesu:

- Definirati faze puštanja u rad
- Objasniti sigurnosni pregled prije operativnog stanja

- Pokretanje „startup“ pogona tvornice
- Detaljni prikaz dijagrama hidrauličkih sustava

## 1.5. Metode znanstvenog istraživanja

Metode primijenjene u pisanju ovog rada jesu deskriptivne i nacrtne.

- **Metoda promatranja:** u radu će biti prikazani dijelovi zapisnika koji demonstriraju faze puštanja pogona hidraulične linije, a zatim će se promatrati i zapisivati opažanja pri samome puštanju u pogon i početnom radu linije.
- **Analitička metoda:** U svrhu puštanja pogona u rad hidraulične linije u ovome radu raščlaniti će se pojedini elementi te će se prikazati i objasniti pojedine faze puštanja u pogon rada kako bi se bolje razumjela suština funkcioniranja hidraulične linije.
- **Metoda sinteze:** na temelju provedenog istraživanja puštanja pogona u rad donijet će se zaključci o uspješnosti puštanja u pogon i preporuke za rad istoga. Promatrati će se povezanost osnovnih elementa (pumpe, ventili, cijevi i slično) i njihovo funkcioniranje u jednoj cjelini koju čini hidraulična linija.

## 1.6. Struktura rada

Ovaj rad je podijeljen u 4 poglavlja.

U prvom poglavlju biti će dan uvod s osnovnom hipotezom metodologijom rada i strukturom puštanja hidrauličke linije u pogon, kao i generalnim procedurama puštanja u pogon raznih postrojenja.

U drugom poglavlju objasniti će se teorijski dio puštanja u rad pogona sa objašnjenjima svih faza od montaže do predaje postrojenja klijentu.

U trećem poglavlju koji se odnosi na praktični dio, bit će objašnjene procedure puštanja u rad hidrauličnog pogona pomoću dijagrama.

Na kraju u četvrtom poglavlju bit će dani rezultati diskusija kao i preporuke za poboljšanje.

## 2. OSNOVE POKRETANJA HIDRAULIČNE LINIJE

### 2.1. Puštanje u rad (eng. Commissioning)

Puštanje u rad (*eng. commissioning*) je proces kojim osiguravamo da svi sistemi i komponente tog sustava dizajnirani, instalirani, testirani, upravljani i održavani prema upravljačkim zahtjevima klijenta (krajnjeg kupca). Sam proces puštanja u rad ne mora biti primjenjiv samo na nove projekte, već se može i primijeniti na već postojeće sustave koji se trebaju nadograditi, obnoviti ili rekonstruirati.

Ujedno je i definiran kao faza projekta kojem u slučaju hidraulike (u bilo kojoj industriji) uvodi fluid. To podrazumijeva da su radovi na izgradnji projekta završeni i započinjemo sa posebnim aktivnostima kako bi se provjerilo je li oprema, strojevi, sustavi i podsustavi, ostale komponente sustava ugrađene, testirane i korištene u skladu s projektnim zahtjevima ili namjenama.

Sam proces puštanja u rad obuhvaća set inženjerskih tehnika i procedura kojim provjeravamo, pregledavamo i testiramo svaku operativnu komponentu u projektu od individualnih funkcija (instrumenta i opreme) do kompleksnih spajanja modula, podsistema ili samih sistema.

Aktivnosti puštanja u rad su primjenjive na sve faze projekta od nacрта, nabave, konstrukcije i montaže do krajnje predaje sistema klijentu (nakon uspješno provedenog testa prihvatljivosti - *eng. acceptance test*), a nerijetko uključuje i asistenciju klijentu tokom starta proizvodnje.

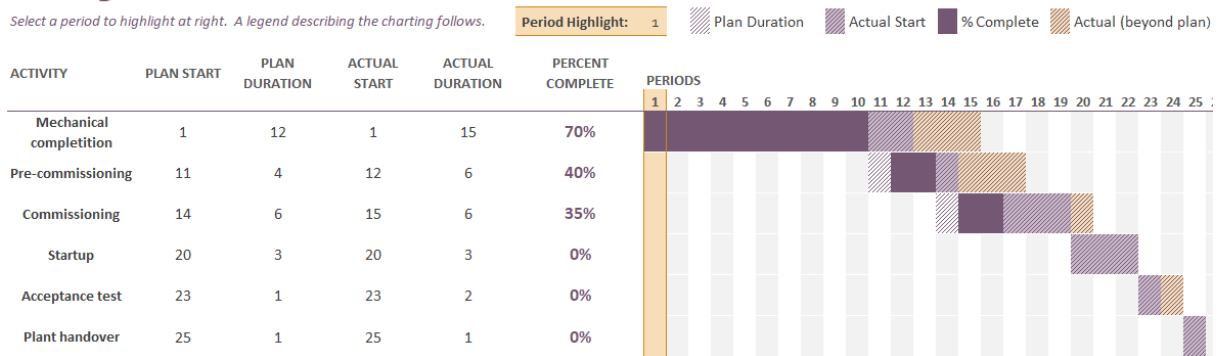
Glavni cilj puštanja u rad je da sigurno i uredno predamo liniju (operativni sustav) klijentu, uz jamstvo njene operativnosti u smislu performansi, pouzdanosti, sigurnosti i sljedivosti informacija. Kad je sproveden u planiranom roku i efektivnom načinu, puštanje u rad predstavlja glavni faktor za ispunjavanje rokova, troškova, sigurnosti i kvalitete na projektu.

Za potrebe efikasnije kontrole razvoja projekta, za svaku aktivnost i pod-aktivnost se definiraju datumi i vrijeme trajanja puštanja u rad. Za ovakve potrebe projekta često se definira Gantogram (*eng. Gantt chart*), čiji se primjer može vidjeti na **slici 1a**. Razvojem shema tijeka aktivnosti na Gantogramu i određivanjem vremenskih okvira za opseg svake aktivnosti, mogu se lakše sagledati resursi i zahtjevi podrške koji su potrebni za izvršavanje i upravljanje unaprijed definiranim zadacima. Detaljni pregled

aktivnosti i zadatka koji se moraju izvršiti tokom puštanja u rad su prikazani u udarnoj listi (*eng. punch list*) na **slici 1b.**, na kojoj jasno stoji datum ažuriranja, opis otvorenih stavki, odgovorna osoba/tvrtka, postotak izvršenosti zadataka sa komentarima. Radi lakšeg snalaženja mogu se dodati tipovi poslova (mekanika, električna i hidraulika), kao i nacrtano definirana šifra sustava na kojoj se nalaze otvorene stavke (projektno definirane).

Slika 1a Gantogram sa aktivnostima projekta

## Project Planner



(Izvor: obrada autora)

Slika 2b Udarna lista (*eng. punch list*)

NC	Type	Area	Description	Priority	Responsible	Date	Done	Obs
1	Mechanical	4500	Check grease incoming and grease points		DIL	13.2.2020.	70%	Ongoing
2	Mech/Elect	4511	Missing encoders for stopper #1 for stacker #2 & #3		DNC	13.2.2020.	100%	
3	Mechanical	4500	Align sprockets for chain transfers that are producing noise and causing vibrations		MICCO	13.2.2020.	60%	Stacker #3 - 3 pcs fixed chain transfer - Stacker #2, 1 pc
4	Mechanical	4500	Check chains tensioning		MICCO	13.2.2020.	100%	Collecting area #2 - done, Collecting area #1 - done, Stacker #1 - pending - Stacker #2 -
5	Mechanical	4511	Stopper #3 to be aligned/adjusted with material		MICCO/DNC	13.2.2020.	30%	
6	Hyd/Mech	7311	Missing 6 levers for hand valves on valve blocks for liftable chain transfer collecting area		DIL	13.2.2020.	100%	Took from line #2, needs to be purchased and 3 more pieces missing
7	Mechanical	4521	Align photocells for fixed pockets material delivery		DNC	13.2.2020.	100%	Modification in progress, in last position material presence was unable to reach
8	Mechanical	4521	One photocell suport needs to be fixed/welded (strapping mach. #1)		MICCO	13.2.2020.	100%	
9	Mech/Elect	4721	Change encoder in front of stacker #2		DNC	13.2.2020.	100%	Installed from line 2
10	Hyd	4513	Replace the valve for Stopper#1, old valve has burned solenoid		DNC	13.2.2020.	20%	Awaiting new part

(Izvor: obrada autora)

Postoji nekoliko faza puštanja u pogon, ali prije toga potrebno je poznavati da proces ustvari započinje nakon što je završena montaža (instalacija mehaničkih, električnih komponenti i potrebnih senzora koji kasnije služe za regulaciju procesa).

## 2.2. Faze puštanja u rad

Tranzicija od konstrukcije do operacije zahtjeva puštanje u rad i „*startup*“ - pokretanje. Da bi se ta tranzicija uspješno izvršila i da bi se linija predala klijentu za koju tvrtka koja prodaje istu, mora garantirati, postoji niz faza i procedura koje moramo slijediti jednu za drugom (bez preskakanja) da bi u toj tranziciji bili i uspješni, Na troukutu faza (**slika 2.**) je opis faza kako se pristupa toj tranziciji. Postoji nekoliko faza prije puštanja u rad, a preduvjeti su prije svega da postoji konstrukcija, odnosno postrojenje koje se treba pustiti u rad. Za svaku fazu i promjenu načina rada treba se revidirati sigurnost na radu i postaviti plan za puštanje u rad sa zadnjim revizijama tehničke dokumentacije i mehaničkog podešavanja. Nakon samog puštanja u rad obavlja se sigurnosni pregled, nakon kojeg je postrojenje spremno za pokretanje i početni rad, da bi se na kraju testirale performanse postrojenja i da se garantira klijentu za obavljeni rad.

Slika 3 Faze prije i nakon puštanja u rad

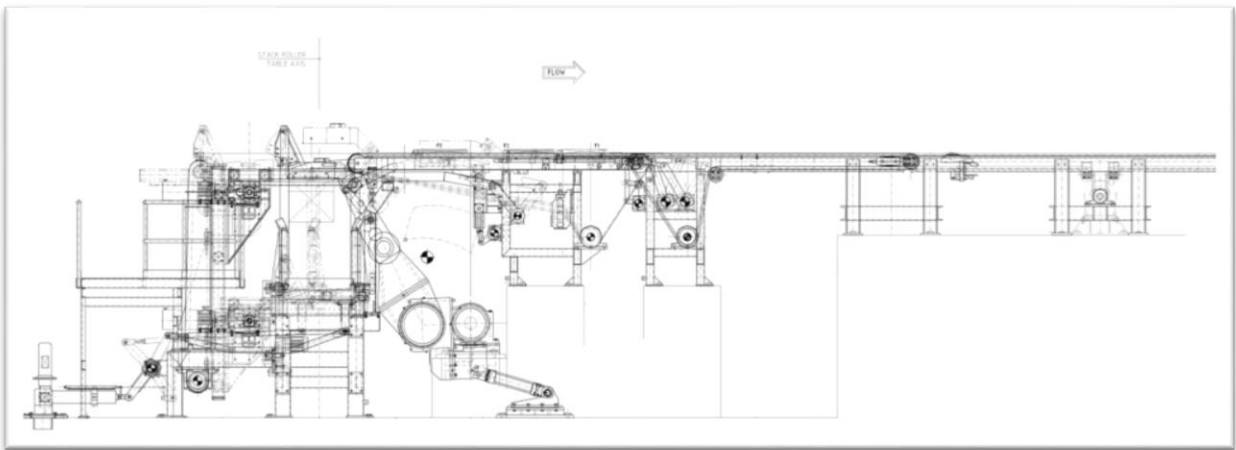


(Izvor: obrada autora)

### 2.2.1. Konstrukcija

Preduvjet za puštanje u rad je da postoji instalirana konstrukcija sa svim komponentama koji su provjereni i ispitani po pitanju sigurnosti i da se može krenuti u dinamička opterećenja konstrukcije, sistema i podsistema. Na **slici 3.** vidi se konstrukcija koja sastoji od puno elemenata (greda, osovina, vratila, lanaca, vijčanih spojeva, ležajeva...) i sustava. Konstrukcija sama po sebi nema svrhu dok je ne pustimo u rad, jer ovu konstrukciju pokreću elektromotori, hidraulički cilindri i pneumatski cilindri.

Slika 4 Bočni prikaz (skica) konstrukcije koju puštamo u rad



(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Danieli)

Prije kretanja u daljnje aktivnosti koraci koje trebamo izvršiti su sljedeći:

1. Revizija i ažuriranje dokumentacije sigurnosti na radu.
2. Revizija projektnih rizika – u projektnom registru.
3. Planiranje procesa puštanja u rad.
4. Mehaničko dovršavanje.
5. Ispitivanje P&ID-a (*eng. piping and instrumentation diagram*).
6. Priprema sistema, komponenti i opreme prije puštanja u rad.
7. Izvođenje puštanja u rad.
8. Revizija sigurnosnih procedura i sistema prije Pokretanja "startup-a".
9. Pokretanja "startup-a" postrojenja.
10. Početne operacije.
11. Test performansi za validaciju namjene postrojenja.



12. Faza nakon puštanja u rad.

### **2.2.1. Revizija i ažuriranje dokumentacije sigurnosti na radu**

Plan koji pokriva dokument o EHS (skraćeno od eng. *Environment, health & safety*) sistemu upravljanja sigurnosti na radu koji izvođač mora implementirati tokom izvršenja projekta prema dogovorenim uvjetima.

Takav dinamični ili „živi“ dokument treba biti revidiran u svim fazama projekta od instalacije do puštanja u rad, pokretanja "startup-a" i operacije.

S obzirom da aktivnosti od montaže do puštanja u rad nisu iste, svaka faza na projektu od montaže do puštanja u rad mora sadržavati procedure i jasne upute kojih se rukovoditelji i zaposlenici moraju pridržavati. Navest ćemo nekoliko primjera:

1. Radnici koji rade na velikim visinama „kranisti“ moraju nositi i imati zakačene sigurnosne pojaseve prilikom penjanja na kran i rada na samom kranu koji se nalazi na visinama od preko 35 m, da bi smanjili rizik fatalnog ozljeđivanja, isto tako, zavisno od lokalnih regulacija, sigurnosni pojasevi moraju biti upotrebljavani ako se rad obavlja na visinama iznad 1,3 – 1,5 m od tla
2. Prilikom puštanja u rad, kad je već aktivna hidraulika i elektromotori, bilo kakvi popravci ili rad oko strojeva nije dopušten dok osoblje koje je zaduženo za nadgledanje zaštite na radu, ne osigura radni prostor. Kad je rad na stroju neophodan, zatvaraju se i zaključaju hidraulični ventili i izvade osigurači elektromotora iz sigurnosnih ormara prije izvođenja popravka da bi eliminirali bilo kakav rizik ozljeđivanja radnika, nakon izvršenja posla, vraćaju se osigurači i otključavaju/otvaraju hidraulični ventili, nakon čega se linija prije danjeg rada još jednom testira i provjerava.

### **2.2.2. Revizija registra projektnih rizika**

Procjena rizika mora postojati za svaki projekt, uključuje sve aktivnosti koje mogu izazvati bilo kakav rizik na ljudsko zdravlje i sigurnost, te se na osnovu parametara rizika, isti ocjenjivanju (od 1-5 ili 1-10). Ukupna ocjena određenih rizika koja je definirana sa projektnim timom, može biti niska, srednja ili visoka. Na visoke rizike

moraju biti definirani akcijski planovi ili definirane procedure za smanjenje/eliminaciju istih.

Takav registar pruža osiguranje projektnom timu da su identificirani svi rizici vezani uz posao na razinu koja je razumno izvediva. Taj dokument je kontinuirano revidiran u svakoj fazi projekta. Prije planiranja puštanja u rad, registar mora biti revidiran da se identificiraju novi rizici vezani uz aktivnosti puštanja u rad, analizirajući postojeće kontrole i nova procjena rizika. Također pruža informacije o budućim zahtjevima o sigurnim radnim prostorima i radnim procedurama.

Tablica 1 Primjer jednostavnog obrasca procjene rizika

Posljedice					Porast učestalost					
Ozbiljnost	Osobe	Okoliš	Imovina	Ugled	0	A	B	C	D	E
					gotovo nezatna	vrlo mala	mala	srednja	visoka	vrlo visoka
					može se dogoditi u I&P	zabilježeno u I&P	dogodilo se u tvrtki bar jednom	dogodilo se više puta u tvrtki	nekoliko puta godišnje u tvrtki	dogodilo se više puta u godini na istom mjestu
1	utjecaj na zdravlje/blaga ozljeda	blagi ishod	blaga šteta	blagi učinak	1-0	1-A	1-B	1-C	1-D	1-E
2	utjecaj na zdravlje/manja ozljeda	manji ishod	manja šteta	manji učinak	2-0	2-A	2-B	2-C	2-D	2-E
3	utjecaj na zdravlje/veća ozljeda	lokalni ishod	lokalna šteta	lokalni učinak	3-0	3-A	3-B	3-C	3-D	3-E
4	trajni invaliditet ili smrt jedne osobe	značajni ishod	znatna šteta	državni učinak	4-0	4-A	4-B	4-C	4-D	4-E
5	više poginulih	opsežan ishod	opsežna šteta	međunarodni učinak	5-0	5-A	5-B	5-C	5-D	5-E

(Izvor: <https://www.azu.hr/media/1094/smjernice-za-procjenu-rizika.pdf>)

### 2.2.3. Planiranje puštanja u rad

Planiranje je jedan od prvih elemenata za puštanje u rad jednog postrojenja da bi to uradili na siguran način i u predviđenom roku. U planu su definirane jasne role, odgovornosti svih uključenih članova tima. Definiiraju se od strane rukovodećih funkcija klijenta i projektnog tima za puštanje u rad (voditelji gradilišta – *site manager* i voditelj puštanja u rad – *commissioning manager*) razni tipovi checklist-a, struktura, cijevi, mehanike, elektrike, instrumentacije da bi razvili radni priručnik. Struktura ljudi se

sastoji od tima inženjera mehanike, elektrike, elektronike/automatike po sekcijama postrojenja sa ko-operantskom firmom koja izvodi radove. Ostale bitne procedure su:

- Razvijanje lista za provjeru – pružaju okvir da su svi uključeni upoznati sa određenim rizicima na radu.
- Razvijanje procedura – imaju definirane odgovornosti i zahtjeve za svakog člana tima sa opisom aktivnosti.
- Redoslijed puštanja u rad – popis svih aktivnosti prema redu za puštanje u rad.
- Planiranje rezervnih dijelova – da bi izbjegli neplanirane zastoje tokom mogućih oštećenja instrumenata ili dijelova opreme.
- Zahtjevi radne snage tokom puštanja u rad – da bi time mogli upravljati radnim opterećenjem tima.
- Punch list-a – lista sa popisom aktivnosti koje se izvode tokom puštanja u rad i praćenje njihovog izvršenja na dnevnoj bazi.
- Okvir tima za puštanje u rad.
- Procedure prije puštanja u rad – ispiranje/ispuhivanje cijevnih sistema.
- Procedure za puštanje u rad za sisteme i jedinice.
- Procedure za sigurnost na radu.
- Procedure kontrole kvalitete.
- Sigurnosne procedure.
- Plan upravljanja u kriznim situacijama i postupci reagiranja.

Od gore navedenih procedura bitno je pratiti i status napredovanja puštanja u rad kroz razne dnevne/tjedne/mjesečne izvještaje, da bi mogli pratiti napredak. Potrebno je voditi ispitne zapise kako bi se mogle pratiti aktivnosti pred puštanje u pogon i samo puštanje u pogon.

Razvoj tzv. udarnih „*punch*“ lista sa konstrukcijskim odjelom i izvođačem radova je neophodno za detaljno praćenje aktivnosti tokom puštanja u rad sa naglaskom na sve probleme i moguće prolongacije faze puštanja u rad, samim time i moguće probijanja rokova na projektu. Uz to mora biti adekvatno planirana i radna snaga koja će biti angažirana u fazama prije puštanja i tokom puštanja u rad u timovima za puštanje u rad po sekcijama linije i poslovnih zahtjeva za sekciju, uključujući i operatere i timove održavanja od strane klijenta.

U planiranje mora biti uključen i sam klijent jer kao što smo prije napomenuli, tim ljudi koji će kasnije preuzeti liniju mora biti upoznat sa aktivnostima puštanja u rad (inženjeri, operateri pogotovo jer to omogućuje najbolju priliku za trening). Također mogu biti uključeni i klijentovi dobavljači i procesni inženjeri.

Kada se govori o upravljanju sa rezervnim dijelovima, materijali kao što su brtve, O-prsteni, ventili, fleksibilne cijevi raznih promjera, alati, vijci, matice, itd. moraju biti osigurani na zalihama da bi se izbjegla nepotrebna čekanja zbog manjka materijala.

#### **2.2.4. Mehaničko dovršavanje**

Mehaničko dovršavanje je ustvari dovršetak cijele konstrukcije sa svim sensorima, instrumentima itd. U toku ove faze nerijetko je prisutan i tim za puštanje u rad s ciljem boljeg upoznavanja same linije i komponenti, posljedično i za lakše snalaženje tokom puštanja u rad što utječe i na ukupnu efikasnost buduće faze. U ovoj fazi svi strojevi, oprema i konstrukcije su ispitane i testirane da bi potvrdili da je montaža provedena u skladu sa odobrenim nacrtima, specifikacijama i spremna za fazu pred-puštanja u rad i puštanja u rad (na siguran način). Također i revidirani svi protokoli tokom montaže konstrukcija da su sve komponente instalirane po standardu, da su dobro odrađene nivelacije i poravnanja konstrukcija poštujući zadane dimenzijske tolerancije za iste. Sa svime navedenim i dokazujemo da smo usklađeni sa zahtjevima projekta.

Kao u svakom projektu, i na ovome imamo razne discipline koje rade na mehaničkom dovršavanju prikazanih na **slici 4.**, a to su:

- Mehanika.
- Cijevi.
- Električna.
- Instrumentacija.
- Automatika.
- Usklađenost struktura.

Slika 5 Prikaz disciplina zaduženih za završetak konstrukcije



Izvor : Obrada autora

U sljedećem dijelu ćemo opisati svaku od navedenih disciplina što obuhvaća i koji su bitni koraci za validaciju svake.

1. **Mehanička disciplina** – obuhvaća validaciju izvršenih radova i eventualne korekcije na mehaničkim dijelovima, a to su:
  - a. Natpisne pločice, prikaz detalja na spremnicima, strojevima i rotacijskoj opremi.
  - b. Interna inspekcija spremnika i cijevi.
  - c. Hidrostatički test spremnika i cijevi.
  - d. Dimenzijske kontrole.
  - e. Provjera zategnutosti vijaka.
  - f. Zaštita spremnika i cijevi.

Kod ovakvih provjera često se zahtjeva i prisutnost predstavnika dobavljača ako imamo kompleksnije strojeve (pr. Kompresorske stanice, puhala, pumpi ili posebne mjerne strojeve na liniji).

2. **Cijevna disciplina** – validacija svega što je vezano uz cijevi i fluide:
  - a. Provjera zavarenih spojeva (NDT – ne-destruktivna).
  - b. Provjera nosača cijevi.
  - c. Ispiranje, čišćenje cijevi i testiranje linije pod pritiskom – posljedično.
  - d. Izdavanje certifikata da li su sva oštećenja otklonjena.
  - e. Završno ispuhivanje i čišćenje (zavisno od tipa fluida).
  - f. Kemijsko čišćenje i sušenje.
  - g. Zaštita cijevi i spremnika.
  - h. Ponovno postavljanje maknutih dijelova cijevi.
  - i. Provjera zategnutosti vijaka.
  - j. Postavljane izolacije na dijelovima cjevovoda koji su izloženi visokim temperaturama.
  
3. **Električna disciplina** – obuhvaća:
  - a. Provjera električnih panela i validacija instalacija.
  - b. Provjera nosača kablova i njihovih nosača.
  - c. Radijus savijanja kablova.
  - d. Provjera spojeva / prekida.
  - e. Provjera uzemljenja.
  - f. Provjera stanja električne izolacije (po Megger-u).
  - g. Provjera ulaznih i izlaznih signala na konektore (instrumenata, solenoida ventila i sl.).
  
4. **Instrumentacijska disciplina** – obuhvaća validaciju završetak radova:
  - a. Instalacija instrumentacijskih panela i njihova validacija.
  - b. Provjera nosača kablova i njihovih nosača.
  - c. Provjera kablova u nosačima i tipa zaštite kablova.
  - d. Radijus savijanja kablova.
  - e. Provjera spojeva / prekida.
  - f. Provjera uzemljenja.
  - g. Provjera instrumenata.
  - h. Provjera aktuatora za otvaranje/zatvaranje krugova protoka.

i. Ispitivanje čvrstoće.

**5. Automatska disciplina** – obuhvaća provjeru:

- a. Provjera HMI (*human - machine interface*) sistema i popravak softwera (uglavnom korišteni Siemens Step7, rjeđe Allen Bradley).
- b. Provjera DCS konzola (distribucijski kontrolni sistemi) i njihova uporaba.
- c. Provjera PLC-ova.
- d. Provjera označavanja i usporedba točnosti sa softver-om.
- e. Ispitivanje i provjera točnosti dolaska/odlaska signala sa senzora ventila i ostale opreme.
- f. Provjera uzemljenja.
- g. Provjera krugova i sekvenci.

**6. Strukturalna disciplina** – obuhvaća provjeru:

- a. Dimenzija.
- b. Kvaliteta izvedbi radova i pouzdanost konstrukcija.
- c. Zategnutost vijaka.

### ***2.2.5. Faza prije puštanja u pogon (pre-commissioning) sistema, komponenti i opreme***

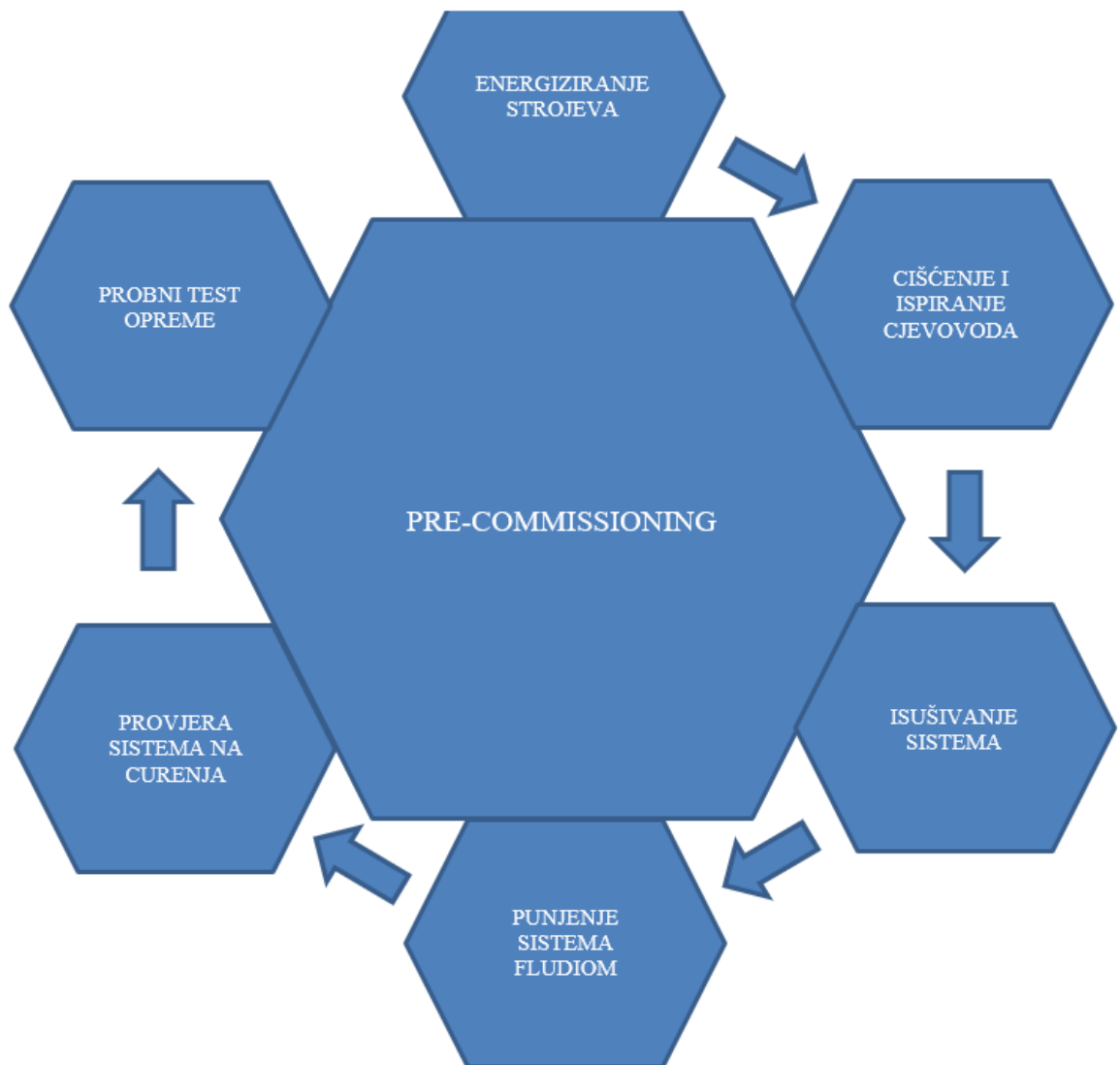
Nakon mehaničkog dovršavanja i validacije iste, sljedeća je trenutna faza koja prethodi samom puštanju u rad a ima naziv – *eng. pre-commissioning*. U ovoj fazi započinjemo sa validacijom opreme, sistema i komponenti da li propisno instalirano, očišćeno i testirano u skladu sa nacrtima ,funkcionalnim opisima i specifikacijama, te ono najvažnije, da li je spremno za puštanje u pogon.

Aktivnosti prije puštanja u pogon uključuju punjenje energije strojeva, ispiranje i čišćenje cjevovoda, dodavanje fluida u cjevovode, ispitivanje curenja na spojevima (spojevi cijevi, fladže itd.), pokretanje elektromotora i pumpi, pokretanje strojeva i komponenti „na suho“. Često se ove aktivnosti obavljaju i tokom mehaničkog dovršavanja.

Također u ovoj fazi se podrazumijeva i zatvaranje svih cjevovoda, spremnika, sistema i podsistema nakon čišćenja. Sve komponente u sistemima koje spominjemo: zglobovi, pinovi, ležajevi moraju biti podmazani. Kao i instalirani filteri na spremnicima i cjevovodima.

Također u ovoj fazi testiramo instrumentacijske, električne i elektromotorne pogone. Sva odstupanja i eventualni popravci moraju biti zabilježeni u udarnoj " *punch*" listi.

**Slika 5.** Prikaz aktivnosti faze pred puštanja u pogon



(Izvor: obrada autora)



Aktivnostima prije puštanja u rad treba odrediti prioritete prema dogovorenim i odobrenim procedurama:

- Procedura za provjeru instrumenata i senzora na hidrauličnom spremniku.
- Procedura za provjeru i punjenje hidrauličnih spremnika (ulje, mast).
- Procedura za provjeru i punjenje akumulatora.
- Procedura za provjeru i testiranje ventila.
- Procedura za provjeru i testiranje hidrauličnih cilindara i hidro motora.
- Procedure za provjeru pomaka i sekvencija konstrukcija pognojenih hidraulikom.
- Procedura punjenja ležajeva od valjaka i osovina na konstrukciji koje se opskrbljuju sa centralnog spremnika koji sadrži mast za podmazivanje.

Dolje navedene sekvence je također preporučljivo testirati u fazi prije puštanja u rad:

- Sustavi napajanja i upravljačke jedinice.
- Testiranje PLC i HMI sustava i instrumenata.
- Testiranje sustava vode za hlađenje sistema.
- Testiranje vatrogasnih sustava.
- Testiranje sustava za pročišćavanje otpadnih voda.
- Kanalizacijski sustav.
- Punjenje akumulatora i testiranje sustava za aktivaciju akumulatora.
- Testiranje interlock-ova – sustava blokadi za sprječavanje oštećenja ili havarije na sustavu.

Razvoj check-lista je neophodan u ovoj fazi za sve tipove opreme, strojeva i sistema kako bi se zabilježili rezultati pregleda i potvrdili spremnost za puštanje u pogon. Sve check liste trebaju biti potpisane i od strane klijenta, kontrole upravljanja projektom, davatelja licenci itd.

Za sve provjere sustava, aktivnosti pripreme i ostale zadatke trebaju biti zabilježeni statusi i performanse gdje je potrebno voditi i ispitne zapise. Slično tome, treba isto voditi QA/QC evidenciju i udarnu „*punch*“ listu sa svim aktivnostima prije puštanja u rad. Ovdje uglavnom mislimo na cjevovode, stacionarnu opremu, rotirajuću opremu, aktivnostima i testovima o nepropusnosti sistema. Ovo će nam pomoći u praćenju

plana i izvršenosti zadataka, te u svakom trenutku možemo znati koliko nam je zadataka preostalo. Ono što je bitno naglasiti da uz planirane zadatke koji su navedeni, moramo pratiti i nepredviđene točke u udarnoj „*punch*“ listi da bi izbjegli bilo kakva iznenađenja.

Ako na liniji postoji specijalna oprema od strane drugog dobavljača, u tom slučaju je neophodno imati i njihovog predstavnika za puštanje u rad, te pripremu iste. Često ovakve stavke ovise o ugovorima između više strana, ali uglavnom i sami dobavljači neće preuzimati odgovornost za opremu ako nisu njihovi predstavnici prisutni ili direktno vode puštanje u rad i podešavanje sa ostalim komponentama i sistemima koji nisu dobavljeni sa njihove strane.

Nakon kompletiranja ove faze sa validacijom da su svi zadaci u ovoj fazi izvršeni, linija će biti spremna za pokretanje i onda krećemo u glavnu fazu – puštanje u rad.

### **2.2.6. Puštanje u rad/pogon - commissioning**

Na svakom projektu, nakon pre-commissioning faze dolazi glavna faza, puštanje u pogon (*commissioning*). U ovoj fazi, gdje je fokus na hidraulici i/ili pneumatici, fluidi su ispunjeni u svim sistemima i podsistemima. Puštanje u rad je faza gdje je projekt završio sa montažom i planiran da prijeđe u operativnu fazu. U ovoj fazi je već provjereno da su svi sistemi i podsistemi izrađeni, montirani, očišćeni i testirani prema dizajnu i funkcionalnom opisu i podrazumijeva se da su spremni za pokretanje "startup". Postoji nekoliko tipova puštanja u pogon:

- a) **Cold commissioning (hladno puštanje u pogon)** – imamo dvije podjele:
  - a. *Dry commissioning (suho puštanje u pogon)* – znači da se ispitivanja i procedure provode bez uključivanja protoka fluida, elektromotora, pumpi i ostalih komponenti. Primjer ovoga djela puštanja u pogon bi bio, testovi otključavanja/zaključavanja gumba u slučaju nužde koji se nalazi u operatorskoj sobi koja mora biti uredno osvijetljena i čišćena, nadomak operatera za brzu reakciju (uključivanje/isključivanje gumba za hitne slučajeve tzv. „gljive“ – **Slika 6.**) ili provjere redoslijeda upravljačkih sustava.

Slika 6 Gumb za hitne slučajeve „gljiva“



(Izvori: [www.danieli.com](http://www.danieli.com))

- b. *Wet commissioning (mokro puštanje u pogon)* – znači da se ispitivanja provode uključujući i elektromotore i pumpe sa fluidima u sistemu, kako bi simulirali radne scenarije i razumjeli ponašanje sustava. U ovoj fazi je hidraulička jedinica u pogonu i fluid (ulje) kruži u zatvorenom sistemu sa aktivacijom ventila i rada cilindara, također u ovim fazama se ispitivanju i gumbi za hitne slučajeve
- b) **Hot commissioning (toplo puštanje u pogon)** – faza je slična kao i kod mokrog puštanja u pogon, gdje su pumpe i elektromotori operativni, kao i svi sistemi i podsistemi. U konkretnom primjeru linije na kojoj se valjaju čelični profili, dobiva se nekoliko uzoraka materijala (dogovorenog profila) gdje se praktično testiraju sekvence i rad senzora koji signaliziraju prisutnost materijala u sustavu i simuliraju se razni scenariji sa samim materijalom prije nego li se krene u daljnje faze. U ovom dijelu dobiva se realnija slika linije i ponašanja samog sustava prije operativne faze linije, tako da u ovoj fazi je poželjno testirati čim više scenarija da bi se izbjegao dodatni rad u operativnoj fazi linije.

Slika 7 Podjela puštanja u pogon



(Izvor: [1.bp.blogspot.com](http://1.bp.blogspot.com))

Kod područja koje se pušta u rad i gdje je rizik za ljudski život procijenjen kao visok, često se koristi sustav ograđivanja tih područja posebnom (žutom) ogradom gdje pristup imaju samo određeni ljudi koji rade na liniji. Sistem se otvara ključem ili dojavom operaterima u kontrolnoj kućici gdje se od trenutka otključavanja vrata onemogućuje „elektronički“ bilo kakva pokretanja na samoj liniji (slično kao da pritisnemo gumb za hitne slučajeve). Postupci za reagiranje moraju biti poznati svim sudionicima tima puštanja u pogon i drugim radnicima. Završna ispitivanja pokretanja sustava, podsustava, curenja, kao i čišćenja moraju biti izvedeni na siguran način.

Za pokretanje sustava, podsustava koji se pune procesnim medijima, rad sustava i podsustava kao i njegovo dovršavanje potrebna je velika količina dokumentacije tokom puštanja u pogon. Stoga se kod puštanja u pogon mora slijediti redoslijed po sustavu i jedinici po jedinici, isto tako i unatrag. Često se može desiti greška prilikom puštanja u pogon budući da se nije pravovremeno instaliralo neke komponente ili modificiralo postojeće. U tom slučaju se zahtijeva od inženjerskog tima da bilo kakve promjene evidentira u postojećoj dokumentaciji (mehaničkoj, električnoj i automatskoj), te se konačna (tzv. as-bulit) dokumentacija predaje klijentu nakon uspješno odrađenog testa.

Kada govorimo u puštanju u pogon i slijed sistema unazad, misli se na:

- Kontrola sekvenci unazad preko PLC/HMI sistema.
- Sistemi hlađenja na zrak, dušik i vodu.
- Sustavi za spremanje proizvoda.
- Sustavi za ponovno vaganje proizvoda.
- Sustavi za označivanje proizvoda (sljedivost).
- Procesne jedinice (peći).
- Skladištenje sirovina (vraćanje proizvoda sa skladišta na liniju kranom).

Kod bilo kojeg puštanja u rad, nezavano uz procesnu industriju, sljedeće procedure moraju biti slijeđene:

- Procedura puštanja u rad za sustave
- Procedura puštanja u rad za korištenje vode ili drugog fluida u svim sistemima.
- Postupak puštanja u rad procesne tekućine u svaki sustav.
- Procedura razmjene (operativni, puštanje u rad i poslovi održavanja).
- Procedura kontrole kvalitete proizvoda.
- Procedure za laboratorijske analize na nove linije.
- Procedura planiranja proizvodnje.

Rad novih postrojenja mora biti integriran tijekom puštanja u pogon i početne faze pogona. Podršku tokom održavanja mora biti osigurana od strane klijenta tokom puštanja u rad za raznu problematiku (prevelika vibracija i temperatura pumpi). Sve aktivnosti tokom puštanja u rad od strane klijenta i dobavljača moraju biti nadzirani od strane tima za puštanje u pogon i davatelja licenci. Davatelj licence za proces može nadgledati same procese puštanja u pogon pogotovo važnih/kritičnih sustava, te mora pružiti pomoć u svim fazama puštanja u rad. Radni parametri i uvjeti procesa su zadani od strane odgovornog procesnog inženjera.

### **2.2.7. Sigurnosni pregled prije operativnog startanja**

Cilj sigurnosnog pregleda prije startanja linije (start-up) je da se osigura da nova/modificirana linija sprema za sigurnu i kontinuiranu proizvodnju. Ono što treba biti potvrđeno u ovoj fazi je sljedeće:

- Konstrukcija i oprema udovoljavaju specifikacijama dizajna.
- Postupci sigurnosti, održavanja i postupanje u hitnim slučajevima su prisutni i adekvatni.
- Sve MOC i HAZOP sigurnosne procedure su implementirane prije startanja.
- Osposobljavanje svih zaposlenika uključenih u proces je dovršeno

Sigurnosni pregled prije pokretanja „*startup*“ je ujedno i posljednji korak u procesu puštanja u rad koji je vođen od strane voditelja puštanja u rad i tima za puštanje u rad od strane klijenta. Dobavljači i izdavači licenci mogu biti prisutni u ovoj fazi. Završetak ove faze podrazumijeva i zatvaranje i usklađenost svih točki u udarnoj „*punch*“ listi kojima potvrđujemo da je linija spremna za siguran pokretanje „*startup*“ i operaciju.

### **2.2.8. Pokretanje „*startup*“ pogona tvornice**

Ovo je faza u kojoj je cijela tvornica sa svim linijama sistemima i podsistemima stavljena u pogon. Svi fluidi su uvedeni, a uvjeti procesa su uspostavljeni s ciljem izrade proizvoda. Za kontinuirane aktivnosti pokretanja, zaposlenici moraju biti spremi i raspoređeni za rad u smjenama, tako da klijent, zaposlenici i dobavljači budu dostupni 24/7. Smjenski dnevnik sa jasnim instrukcijama za ispunjavanje mora biti specificiran prije startanja pogona.

Kod startanja pogona razne procedure moraju biti implementirane od kojih ćemo navesti neke:

- Procedura za pročišćavanje cjevovoda.
- Evakuacijska procedura za cjevovode i opremu.
- Procedura za grijanje i hlađenje sistema.
- Sekvence startanja sa standardnim operativnim procedurama.

- Procedura za operaciju pogona u normalnim uvjetima.
- Procedura za gašenje pogona.
- Procedura za gašenje pogona u slučaju hitnoće.

Potrebno je osigurati i potrebna sučelja za operacije i održavanje, kontrola kvalitete proizvoda sa definiranim planom kontrole kvalitete i laboratorijskim analizama, planiranje proizvodnje od strane tvrtke i reagiranje u izvanrednim situacijama za izvođače, te sigurnost na radu zajedno sa tvrtkom i izvođačem.

Slično tome, tehnička podrška održavanja od strane klijenta je neophodna u ovoj fazi zbog svih mogućih zastoja i sitnijih popravaka na liniji da bi izbjegli nepotrebna čekanja. Involviranost procesnih inženjera u ovoj fazi je od velikog značaja, pošto je ovo ujedno i faza u kojoj postavljamo procesne parametre koji se moraju održavati i za sljedeću fazu gdje je postrojenje spremno za rad.

### **2.2.9. Početni rad pogona**

Početni rad pogona znači da cijela tvornica radi u kontinuiranoj operaciji (simulacija standardne proizvodnje), odrađena sva fina podešavanja i spremna za test performansi, što je ujedno i atestiranje pogona (*eng. acceptance test*). Najbitnije stavke u ovoj fazi jesu:

- Fina podešavanja kontrolnih krugova
- Kompletni procesi i testiranja do operativnih granica
- Provjeravanje granica isključivanja pogona u slučaju hitnoće
- Održavanje svih važnih podataka o opremi, relevantnim procesnim podacima i podaci o performansama strojeva

### **2.2.10. Test performansi postrojenja - atestiranje**

Atestiranje (*eng. acceptance test*) potvrđujemo da je postrojenje sukladno specificiranoj namjeni i zadovoljava u smislu performansi. Dakle kupac daje za cilj količinu proizvoda koja se mora napraviti u određenom vremenskom periodu (uglavnom u 24 sata) sa koliko involviranih radnika i brojem planiranih zastoja, u ovoj

fazi neplanirani zastoji nisu prihvatljivi, te se test ponavlja ukoliko dođe do njih. Ispitivanje performansi uključuje rad postrojenja i izvođenje raznih aktivnosti, demonstracija i ispitivanja za mjerenja novog postrojenja i opreme u skladu sa odobrenim projektom i navedenim parametrima.

Vrijeme testiranja varira od različitih tipova industrija, konkretno kad je u pitanju postrojenje za izradu čeličnih profila, taj test zavisi od dogovora između izvođača i klijenta, uglavnom se bazira na tome da ako tvornica proizvodi 10 vrsta čeličnih profila, za svaku vrstu profila se zadaje tonaža koja treba biti proizvedena u periodu od 24 sata. Takva testiranja uglavnom traju od 2 tjedna do mjesec dana.

Dužnosti zaposlenika uz adekvatnu predaju smjena je i da se kontinuirano prate procesi i parametri tokom proizvodnje, ako u određenom razdoblju test postane neuspješan potrebna je intervencija i atestiranog inženjera. Procedura ovog testa mora biti dogovorena od strane klijenta i izvođača sa dogovorenim pokazateljima uspješnosti koje kasnije obje strane moraju slijediti.

Tokom testa performansi sljedeće aktivnosti moraju osigurane od strane klijenta i izvođača:

- Kontrola kvalitete.
- Planiranje proizvodnje.
- Odgovor u slučaju hitnog slučaja.
- Opća sigurnost i sigurnost na radu.
- Održavanje i tehnička podrška.
- Nadzor nad svim procesnim parametrima.
- Spremanje svih procesnih očitavanja.
- Instalacija dodatnih mjernih uređaja (ako je potrebno).
- Usporedba procesnih podataka sa specifikacijama.
- Vođenje smjenskog dnevnika.
- Nadziranje HMI sustava.
- Uzorkovanje proizvoda i slanje na analize.
- Analiza i procjena testiranih parametara.

Ako su svi parametri tokom testiranja zadovoljeni i podudaraju se sa specificiranim, tada ćemo imati konačno prihvaćanje postrojenja od strane klijenta. Uglavnom, za samu procjenu i reviziju parametara o izvedenim testovima treba dva do tri tjedna. Ako su rezultati zadovoljavajući, u tom trenutku se radi primopredaja projekta klijentu,



samim time i potvrđuje da je tim za puštanje u pogon ispunio svoju obavezu. U nekim slučajevima može postojati i manja udarna „*punch*“ lista koja je priložena u finalnom certifikatu za prihvaćanje projekta.

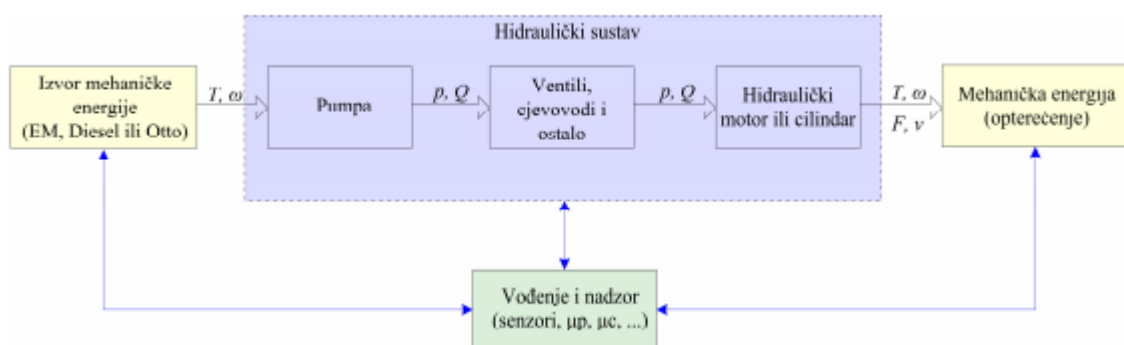
### 2.2.11. Faza nakon puštanja u rad (post-commissioning)

Ovo je faza nakon predaje postrojenja klijentu. Predati postrojenje klijentu znači da je klijent potpisao potvrdu o konačnom prihvaćanju i da mu pomoć pri radu više nije potrebna. U ovoj fazi su riješene sve točke u udarnoj „*punch*“ listi su riješene uključujući podešavanja i modifikacije koje su bile potrebne tokom testiranja.

U ovoj fazi, a prema dogovoru, nekoliko osoba od stane izvođača može biti prisutna u tvornici do nekoliko mjeseci koji će biti odgovorni za planiranje proizvodnje, operacije, održavanje, kontrolu kvalitete proizvoda, izvanredne situacije itd., dok zaposlenici klijenta ne steknu određeno iskustvo za samostalno upravljanje postrojenjem.

## 2.3. Prikaz toka energije kroz hidraulički sustav i hidrauličke pumpe

Slika 8 Tok energije kroz hidraulički sustav



(izvor: J. Petrić „Hidraulika i pneumatika“ 1. dio, FSB Zagreb, 2012.)

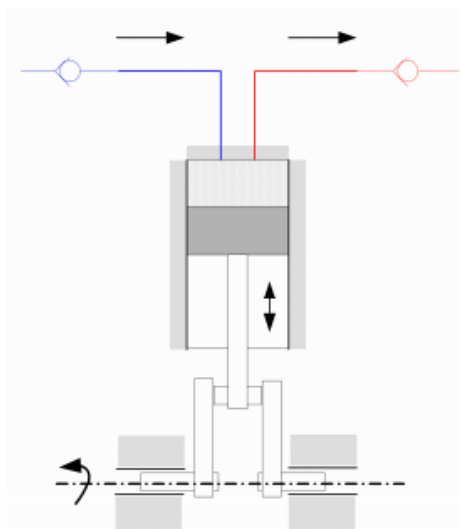
Na shemi (slika 8.) je prikazan tok energije kroz hidraulički sustav, gdje na početku se uvijek nalazi izvor mehaničke energije (uglavnom je to elektromotor, a mogu biti i motori sa unutarnjim izgaranjem – diesel, otto) koji daju okretni moment

koji pokreće pumpu. Pumpa ima podešeni tlak koji se šalje u sustav cjevovoda. U hidrauličkom sustavu se nalaze ventili (razvodnici) koji uglavnom služe za rad hidrauličnog cilindra (može i smjer vrtnje hidromotora), koji daju silu ili okretni moment kojom pogone neki teret.

Pumpa je hidrostatički stroj, čiji je princip rada prikazan na primjeru jednostavne linearne klipne pumpe (**slika 9.** – iz knjige J. Petrić „Hidraulika i pneumatika 1.dio“ FSB Zagreb, 2012.). Hidrostatička pumpa radi na način da u jednom ciklusu „usisavanja“ uhvati određeni volumen fluida u nekom prostoru i onda taj volumen prilikom „tlačenja“ se smanjuje i šalje se u hidraulički sustav čiji tlak ovisi o otporima unutar hidrauličkog sustava (pr. promjer cijevi). Ova dva ciklusa se neprestano izmjenjuju i preklapaju gdje klip neprestano radi dole (usisava) i gore (tlači). Kod hidromotora je proces obrnut jer fluid tlači mehaničke komponente unutar hidromotora (klipovi, zupčanici) koji obavljaju neki rad, a kod hidrauličnog cilindra, fluid gura određenu stranu klipa cilindra koja svojim otvaranjem (A strana cilindra) i zatvaranjem (B-strana cilindra) daje silu na neki koja pogoni teret (konstrukciju).

Također na **slici 9.** imamo i nepovratne ventile koji nam služe da odvoje dio sustava sa niskim tlakom od onoga sa visokim jer u protivnom ovakav tip pumpe ne bi mogao raditi (tokom spuštanja klipa, nepovratni ventil propušta ulje sa usisne strane, dok tokom ciklusa tlačenja ne propušta na istu stranu, isti je princip i za tlačnu stranu, samo obrnuti proces).

Slika 9 Princip rada linearne klipne pumpe

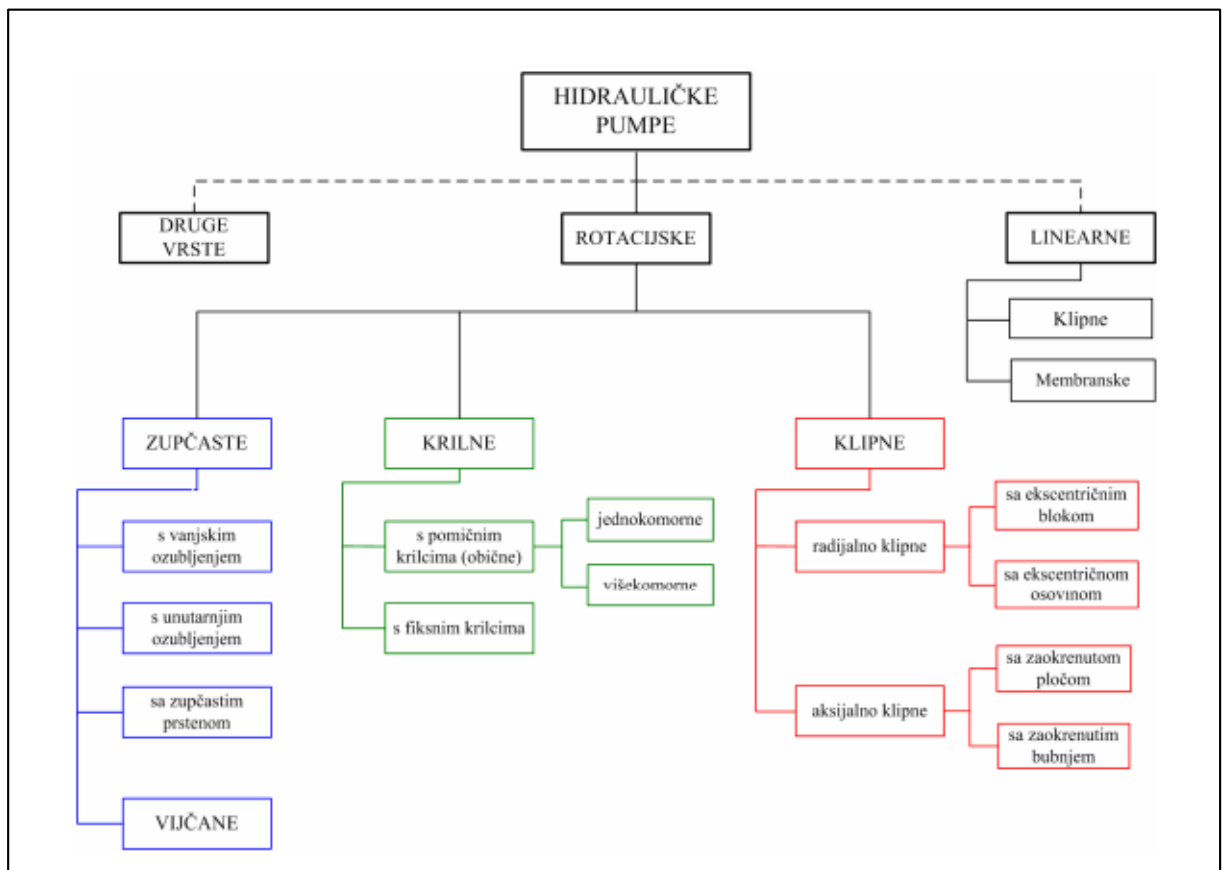


(izvor: J. Petrić „Hidraulika i pneumatika“ 1. dio, FSB Zagreb, 2012.)

Ovakav tip linearne pumpe, rijetko se koristi, uglavnom se koriste rotacioni strojevi čija se podjela prema J. Petrić može vidjeti na **slici 10**.

„Tu se pumpe dijele na dinamičke i volumenske, gdje se dinamičke definiraju kao pumpe u kojima se kapljevina prenosi djelovanjem sila koje na njih djeluju u prostoru što je neprekidno povezan s usisnim i tlačnim cjevovodima pumpe. U volumenskim pumpama kapljevine se prenose pomoću periodičkih promjena volumena prostora što ga zauzima kapljevina, a koji se povremeno i naizmjenično povezuje s usisnim i tlačnim cjevovodima pumpe. Tako je i omogućen znatno veći radni tlak volumenskih (hidrostatičkih) strojeva.“<sup>1</sup>

Slika 10 Podjela hidrauličnih pumpe



(izvor: J. Petrić „Hidraulika i pneumatika“ 1. dio, FSB Zagreb, 2012.)

<sup>1</sup> J. Petrić „Hidraulika i pneumatika“ 1. dio, FSB Zagreb, 2012. – str.6

### 2.3.1 Klipne pumpe

Rotacione klipne pumpe su vrlo raširene zbog njihovih dobrih svojstava, visokim stupnjem korisnosti djelovanja (do 0.95) i mogućnosti rada na području viših tlakova iznad 150 bar-a. „Klipovi su radni elementni koji se pomiču kroz cilindrični prostor u kojima se usisava/tlači fluid.“<sup>2</sup> Ovakve pumpe su upravo zbog složenosti dijelova zahtjevne za održavanje i uspoređujući sa drugim vrstama pumpi, cijena ima je znatno viša.

Podjela rotacionih pumpa ovisi o gibanju klipova s obzirom na os rotacije pumpe/motora, a to su (**slika 11.**):

1. **Radijalne** – usis i tlačenje odvija se ciklički

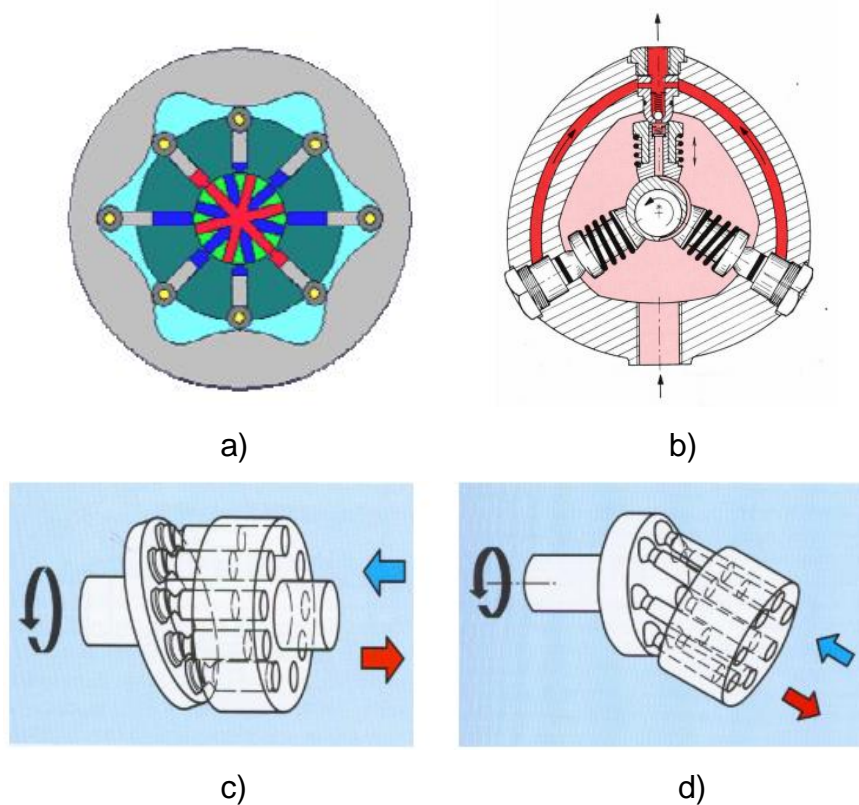
- a) *Radijalno klipne sa ekscentričnim blokom* – ulje se puni iznutra u cilindre, kroz blok koji se rotira zajedno sa cilindrima
- b) *Radijalno klipne sa ekscentričnom osovinom* – ulje se puni kroz statički blok, a rotira se osovina sa ekscentričnim prstenom

2. **Aksijalne** -

- c) *Aksijalno klipne sa zakrenutom pločom* – zakrenuta pod kutem od 18° u odnosu na osovinu
- d) *Aksijalno klipne sa zakrenutim bubnjem* – bubanj nagnut pod kutem od 45° u odnosu na osovinu

<sup>2</sup> J. Petrić „Hidraulika i pneumatika“ 1. dio, FSB Zagreb, 2012. – str.83

Slika 11 Klipna pumpa



(izvor: J. Petrić „Hidraulika i pneumatika“ 1. dio, FSB Zagreb, 2012.)

Postoje različite varijante klipnih aksijalnih i radijalnih pumpi/motora, od kojih različite konstrukcijske varijante imaju različita svojstva u smislu trajnosti, brzini vrtnje, gubitaka, ravnomjernosti protoka i cijena, svaki od njih imaju svoje prednosti i nedostatke.

Za primjer, strojevi sa zakrenutom pločom su jeftiniji i lakše se podešavaju, također imaju mogućnost rasporeda na jednu pogonsku osovinu (prolaznu). Strojevi sa zakrenutim bubnjem imaju veći stupanj korisnog djelovanja, bolje startne karakteristike za motore i mogućnost veće brzine vrtnje.

### **2.3.2 Hidraulični cilindri**

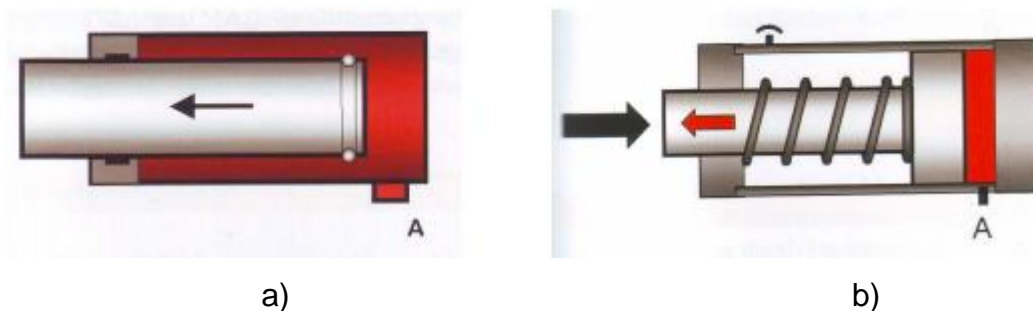
Hidraulički cilindri vrlo jednostavno i efikasno pretvaraju hidrauličku energiju u linearno gibanje. Hidraulički i pneumatski cilindri mogu imati hod od nekoliko milimetara do nekoliko desetaka metara, od kojih hidraulički cilindri mogu razviti velike sile do nekoliko stotina tisuća kN (ekvivalent masi od nekoliko desetaka tisuća tona).

Hidraulički cilindri su konstrukcijski jednostavni elementi koji se sastoje od: košuljice (cijev, plašt), klipa, klipnjače, brtvi i dva poklopca koji mogu biti pričvršćeni varenjem, navojem na košuljicu ili šipkama. Pričvršćuju se na podlogu, klipnjača se pričvršćuje na predmet ili konstrukciju koja se pomiče.

S obzirom na djelovanje sile dijelimo ih na:

1. **Jednoradne** – koji obavljaju koristan rad u jednom smjeru i imaju jedan hidraulički priključak (**slika 12.**):
  - a) Sa uronjenom klipnjačom – komora cilindra se puni uljem i podiže klip, pod opterećenjem tereta se vraća u početni položaj (ali može i prestankom djelovanja pritiska)
  - b) Sa oprugom – klip se podiže pomoću ulja na ulaznoj strani cilindra (A), vraća se u početni položaj pomoću opruge (uz teret)

Slika 12 Jednoradni cilindar



(izvor: J. Petrić „Hidraulika i pneumatika“ 1. dio, FSB Zagreb, 2012.)

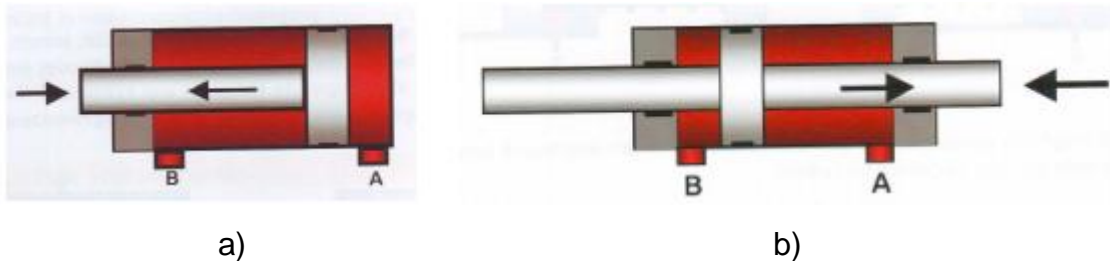
2. **Dvoradne** – rade koristan rad u oba smjera te imaju dva priključka (A i B strana) – **slika 13**, a dijele se na:
  - a) Diferencijalne – koji imaju određen omjer površina klipa i klipnjače, primjer:

$$\alpha = \frac{A_{klipa}}{A_{klipnjače}}$$

,što znači dvostruko veću površinu klipa sa donje strane. Samim time je i sila cilindra dvostruko veća s jedne strane (A) djelovanja uz isti tlak, dok je protok dvostruko veći sa druge strane (B).

- b) S prolaznom klipnjačom – ima istu površinu sa obje strane, pa su tlak i protok simetrični s obje strane gibanja, čime je ujedno i pogodan za servo primjene.

Slika 13 Dvoradni cilindar



(izvor: J. Petrić „Hidraulika i pneumatika“ 1. dio, FSB Zagreb, 2012.)

### 2.3.3 Razvodnici

Razvodnici ili razvodni ventili (*eng. directional control valve*) su vrste hidrauličkog ventila koji zatvaraju, otvaraju ili usmjeravaju fluid (razvede ga). Razlikuju se po broju hidrauličkih priključaka i brojem razvodnih položaja, pr. 4/3 – razvodnik ima 4 priključka i 3 razvodna položaja (**slika 14 d**).

Simboli razvodnika su uglavnom označivani kvadratima u kojima se nacrtaju smjerovi priključaka, dok se pokraj kvadrata nalaze položaji upravljanja (**slika 14**).

Priključci:

P – pumpa/tlak

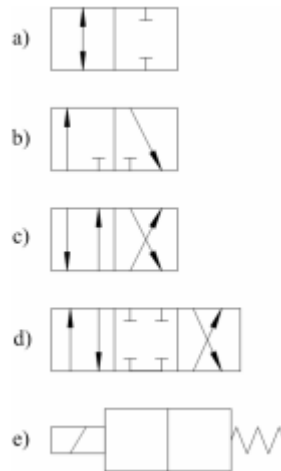
T – spremnik (povrat)

A,B – radnji priključci trošila (pr. Radne strane hid. cilindra)

L – curenje

X,Y,Z – upravljački priključci

Slika 14 Razvodnici: a) 2/2; b) 3/2; c) 4/2; d) 4/3; e) 2 razvodna položaja upravljani elektromagnetom i oprugom



(izvor: J. Petrić „Hidraulika i pneumatika“ 1. dio, FSB Zagreb, 2012.)

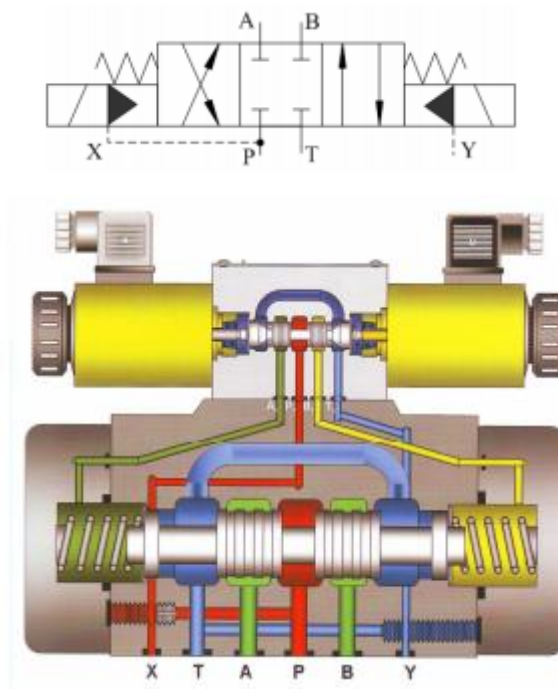
Kod većih razvodnika koji su namijenjeni većim protocima, sile koje djeluju na klizni mehanizam mogu biti velike zbog razvodne površine, stoga se koriste i indirektno upravljani razvodnici (*eng. pilot valve*). Pilot je ustvari predupravljački razvodnik koji upravlja glavnim koji se obavlja elektromagnetski, a pomicanje kliznog djela se obavlja tlakom.

Na **slici 15** je primjer posredno upravljano pomoću elektromagneta. **Slika 15 - a)** prikazuje simbol posredno upravljano 4/3 razvodnika (4 priključka i 3 razvodna položaja). Puni trokut na simbolu znači da je razvodnik posredno upravljano (hidraulički), porastom tlaka, da je kojim slučajem razvodnik upravljano suprotno, padom tlaka, tada bi isti simbol punog trokuta bio okrenut u suprotnom smjeru. Linije X i Y označavaju napajanje i odvod fluida koji služi samo za upravljanje razvodnikom koji mogu biti interni (vodovima unutar razvodnika) ili eksterni (odvojeni van razvodnika).

U ovom slučaju je napajanje interno, a odvodi su eksterni. Na **slici 15b** je prikazan presjek posredno upravljano 4/3 razvodnika gdje se vidi da je gornji (manji) razvodnik pilot upravljano sa elektromagnetima, a donji je glavni razvodnik.



Slika 15 Razvodnik - a) simbol posredno upravljano $g$  4/3 razvodnika; b) posredno upravljani 4/3 razvodnik



(izvor: J. Petrić „Hidraulika i pneumatika“ 1. dio, FSB Zagreb, 2012.)

### **3. Postavljanje hidrauličke linije**

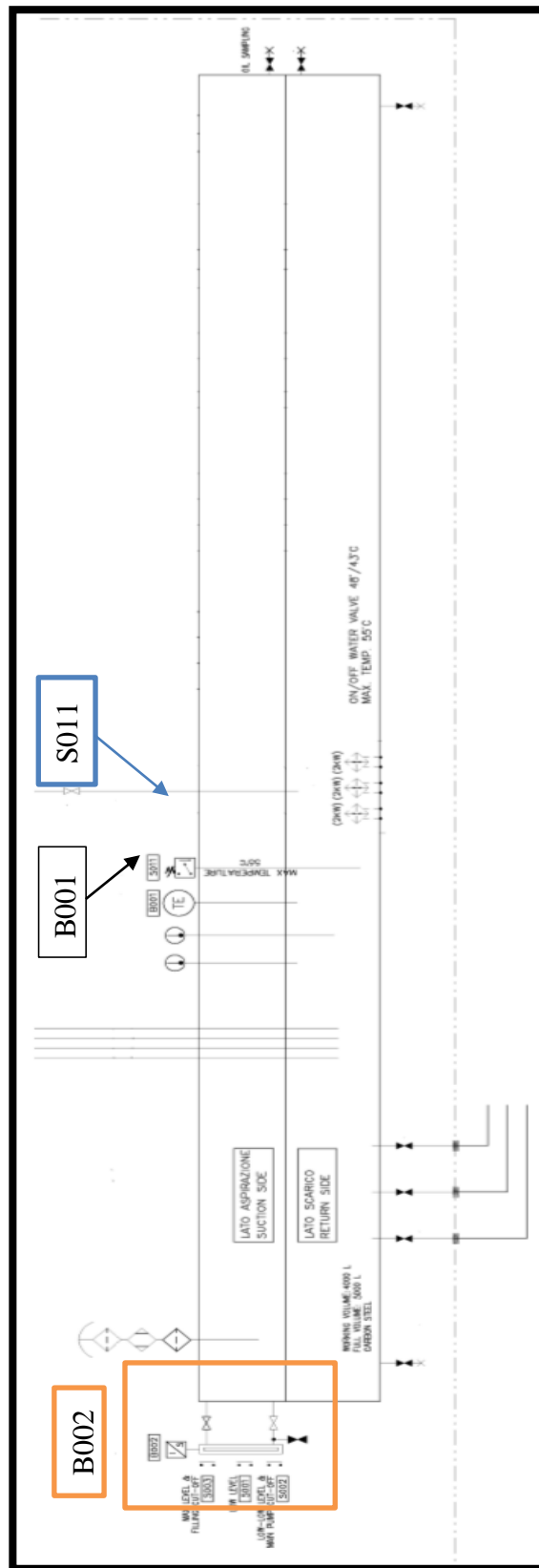
U ovom poglavlju je fokus na konkretne korake kod puštanja u rad hidraulične linije i postavki, do samog prikaza sekvenci u praksi, kada je linija i automatski podešena. Kod puštanja u pogon, glavna suradnja tima za puštanja u pogon se odnosi između inženjera mehanike (odgovorna osoba za mehaniku, hidrauliku i pneumatiku i same postavke procesa), inženjera automatike/elektronike (osobu zaduženu za podešavanje softvera u programibilnim logičkim kontrolorima (PLC), inženjera elektrike čija su glavna zaduženja električne instalacije i problematike oko elektromotora i senzora, te inženjera za elektromotorne pogone čija su zaduženje usko vezana za elektromotore i u našem slučaju magnetne glave.

#### **3.1. Hidraulična jedinica**

Hidraulična jedinica dostavlja hidrauličko ulje za pokrete (preko aktuatora - cilindara) na određeni dio linije (u našem slučaju stroj za slaganje čeličnih profila). Hidraulična jedinica se sastoji od 7 pumpi (5 operativnih i dvije u stanju pripravnosti), te dvije recirkulacijske. Glavne pumpe skupljaju ulje iz spremnika i dostavljaju do krajnjeg trošila (cilindra).

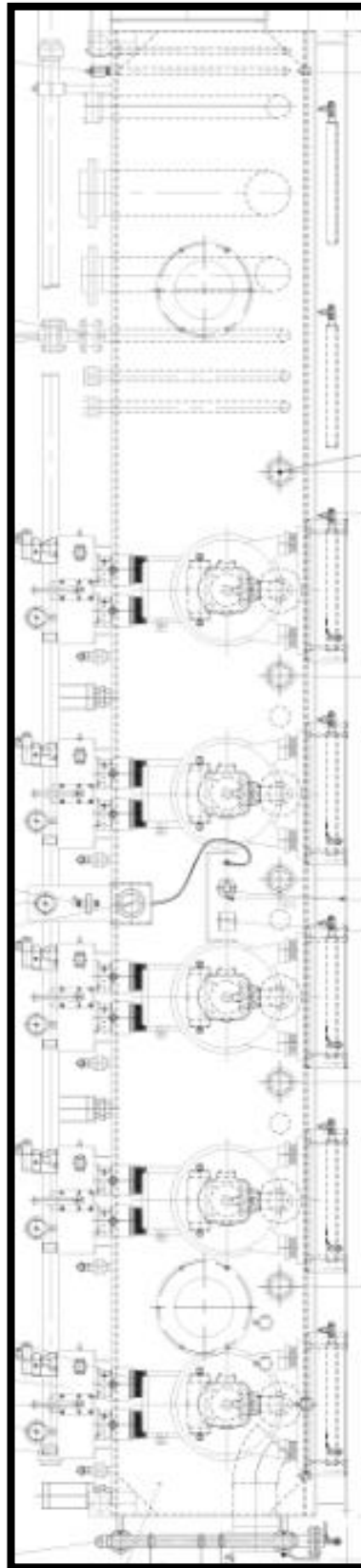
Na spremniku postoji nekoliko upravljačkih komponenti koje se ispituju tokom puštanja u rad a prije svega rad njihovih funkcija, svaki pretvarač, senzor ili davač ima svoju oznaku, fizički i u dijagramima (hidrauličnim, električnim i automatskim) čije objašnjenje se nalazi na sljedećim slikama i paragrafu (**Slika 16. i 16a.**):

Slika 16 Dijagram spremnika hidrauličnog ulja



(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Danieli)

Slika 16a Nacrt spremnika hidrauličnog ulja

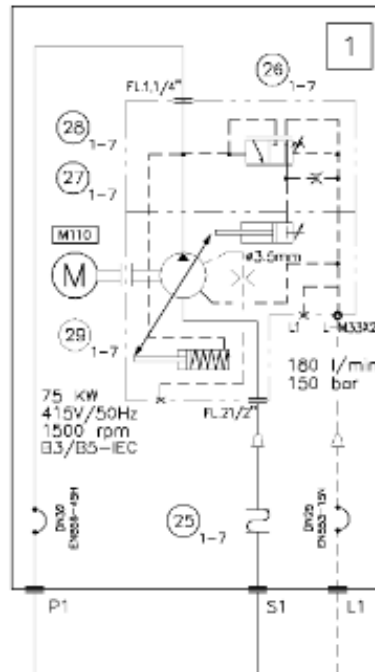


(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Danieli)

- Analogni pretvarač razine ulja sa prekidačima razine (B002) – spojen na spremnik i daje povratnu informaciju sistemu o količini ulja u spremniku, točno podešenog na maksimalnu razinu, nisku razinu i jako nisku razinu gdje se prekida rad pumpi
- Pretvarač temperature (B001) – spojen na spremnik i direktno kontrolira rad grijača ulja instaliranih na spremnik i vode za hlađenje na recirkulaciji. Ako je temperatura ulja ispod 35 °C, tada se uključuju grijači, a isključuju kad je temperatura iznad 40 °C. Ventil za hlađenje vodom se uključuje ako je temperatura ulja iznad 50 °C i zatvara ispod 45 °C. Ako je zbog bilo kojeg razloga temperaturni pretvarač u kvaru, onda je ventil za hlađenje vode uvijek otvoren.
- Senzor diferencijalnog tlaka (S011) - Kako bi se spriječilo oštećenje stroja, ventila, cilindara, pumpi i sl., zbog mogućih nečistoća ulja u dva sustava za filtriranje ulja (povratna linija i recirkulacijska liniji). Diferencijalni prekidači su postavljeni na svaki filtracijski sustav da bi nadgledali čistoću filtera.

Kao što smo već napomenuli, hidraulična jedinica se sastoji od 7 pumpi. Pumpe su pogonjene AC motorima snage 75kW ispred kojih se nalaze usisni ventili i prekidači na ventilima da bi kontrolirali poziciju ventila. Kod startanja pumpi jako je bitna provjera smjerova vrtnje elektromotora i podešavanje nominalnog tlaka sustava (150 bar) – **Slika 17. i Prilog 1.**

Slika 17 Dijagram glavnih pumpi

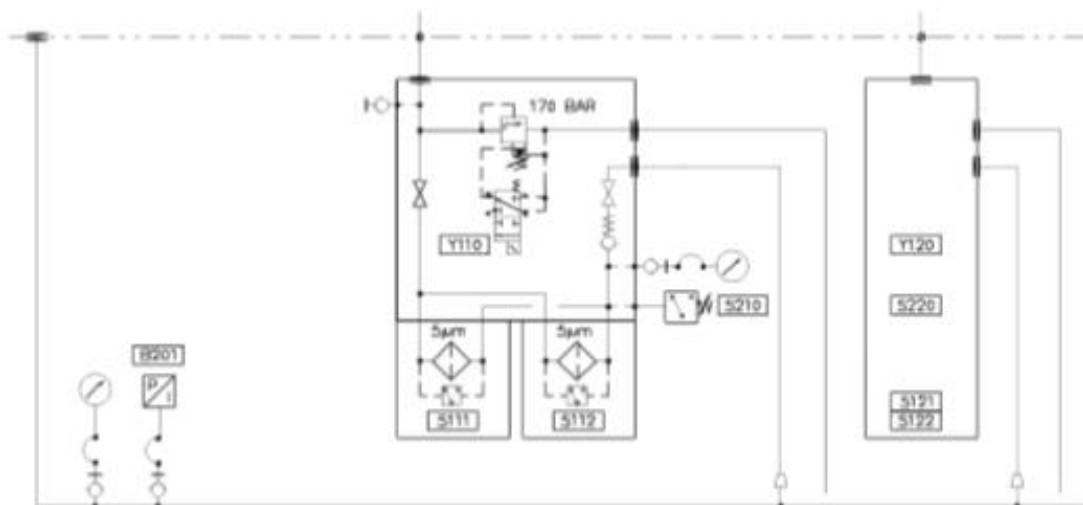


(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Daniela)

Pumpe koje imaju najveći broj radnih sati su u modu čekanja i automatski selektirane od strane sustava.

Za nadzor linije opskrbe uljem u sustav imamo nakon svake pumpe instaliran pretvarač pritiska (podešen na 20 bar-a više od nominalnog – 170 bara) kojim nadgledamo pritisak ulja. Svaka pumpa ima odzračni ventil kojim kontroliramo isporuku pumpe.

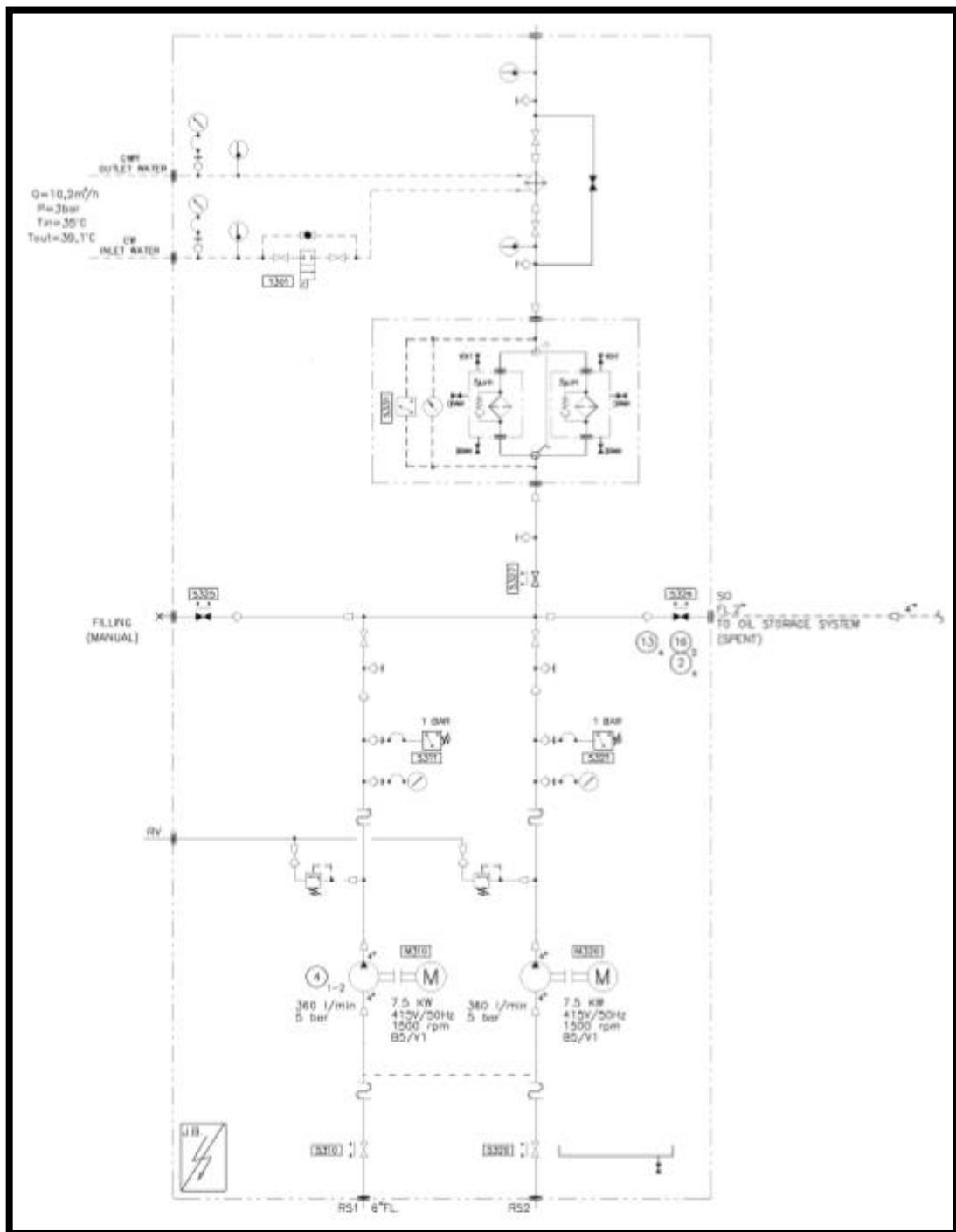
Slika 18 Dijagram opskrbne linije (P)



(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Daniela)

Recirkulacijska linija ima dvije pumpe (7,5 kW). Imaju zadaću da recirkuliraju ulje u spremniku zbog čišćenja (filtracije) i izjednačavanja temperature ulja. Kao što smo napomenuli, sistem je nadziran temperaturnim pretvaračem koji kontrolira i ventil za dostavu hladne vode u hladnjak (**Slika 19 i Prilog 2**).

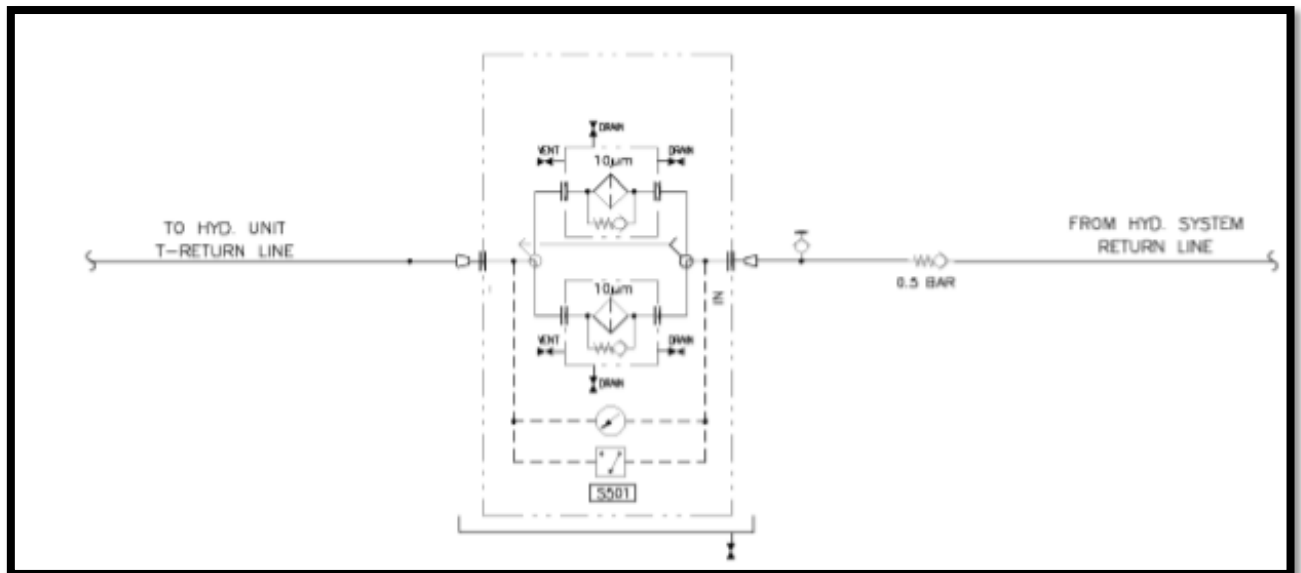
Slika 19 Dijagram re-cirkulacijske linije



(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Danieli)

Povratna linija prema spremniku ulja sadrži dva filtera da bi spriječili bilo kakve nečistoće u sustav i moguća oštećenja ventila, pumpi, cilindara. Prekidači diferencijalnog tlaka su postavljeni na svaki od filtera (10 mikrona) da bi nadzirali stupanj začepljenosti svakog i prema potrebi, zamijenili. Na ulazu u filtracijski dio je postavljen nepovratni ventil.

Slika 20 Dijagram linije povrata



(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Danieli)

Za zaštitu i nadziranje kompletnog sustava postavljeni su razni prekidači i pretvarači. Prije samog puštanja u rad, svaki signal je ispitan od strane automatičara i električara i tokom puštanja u rad kada fluid cirkulira sistemom, razne situacije se forsiraju od strane mehaničara da bi ocijenili sve systemska dopuštenja i blokatore.

### **3.2 Hidraulično pokretanje magnetnih glava za slaganje**

Nakon što je hidraulična jedinica uspješno puštena u rad i ocjenjeno da ulje cirkulira sistemom, nakon toga se prelazi na podešavanje ventile i rad cilindara. Nakon nekoliko dana protoka ulja sistemom provjeravaju se sami filteri zbog mogućih prljavština u sistemu. Nije preporučljivo odmah nakon startanja hidraulične jedinice pokretati komponente preko ventila, jer ako je prisutna prljavština u sistemu, posljedično zbog lošeg čišćenja i nedovoljno kontroliranog dodavanja ulja u sistem, može doći do



kontaminacije i oštećenja špula u ventilima i oštećenja unutrašnje površine cilindra koji često zahtijevaju zamjenu.

U ovom radu će se objasniti sistem magnetnih glava koje su u glavnog značaja za slaganje materijala u snop. Pošto je sama konstrukcija teška 15 tona, za podizanje te konstrukcije upotrebljavaju se 3 hidraulična cilindra za takvu konstrukciju (specifikacija u **Tablici 2.**).

Tablica 2 Specifikacija hidrauličnog cilindra

CILINDRI ZA PODIZANJE/SPUŠTANJE MAGNETNIH GLAVA	
C = (hod cilindra)	440 mm
$\varnothing$ = Dijametar klipa/klipnjače	125/90 mm
$v_{max}$ = Brzina podizanja/spuštanja	304 mm/s
V = volumeni kod otvaranja / zatvaranja	5,4 / 2,6 dm <sup>3</sup>
Q = protok kod otvaranja / zatvaranja	224 / 108 (l/min)

(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Danieli)

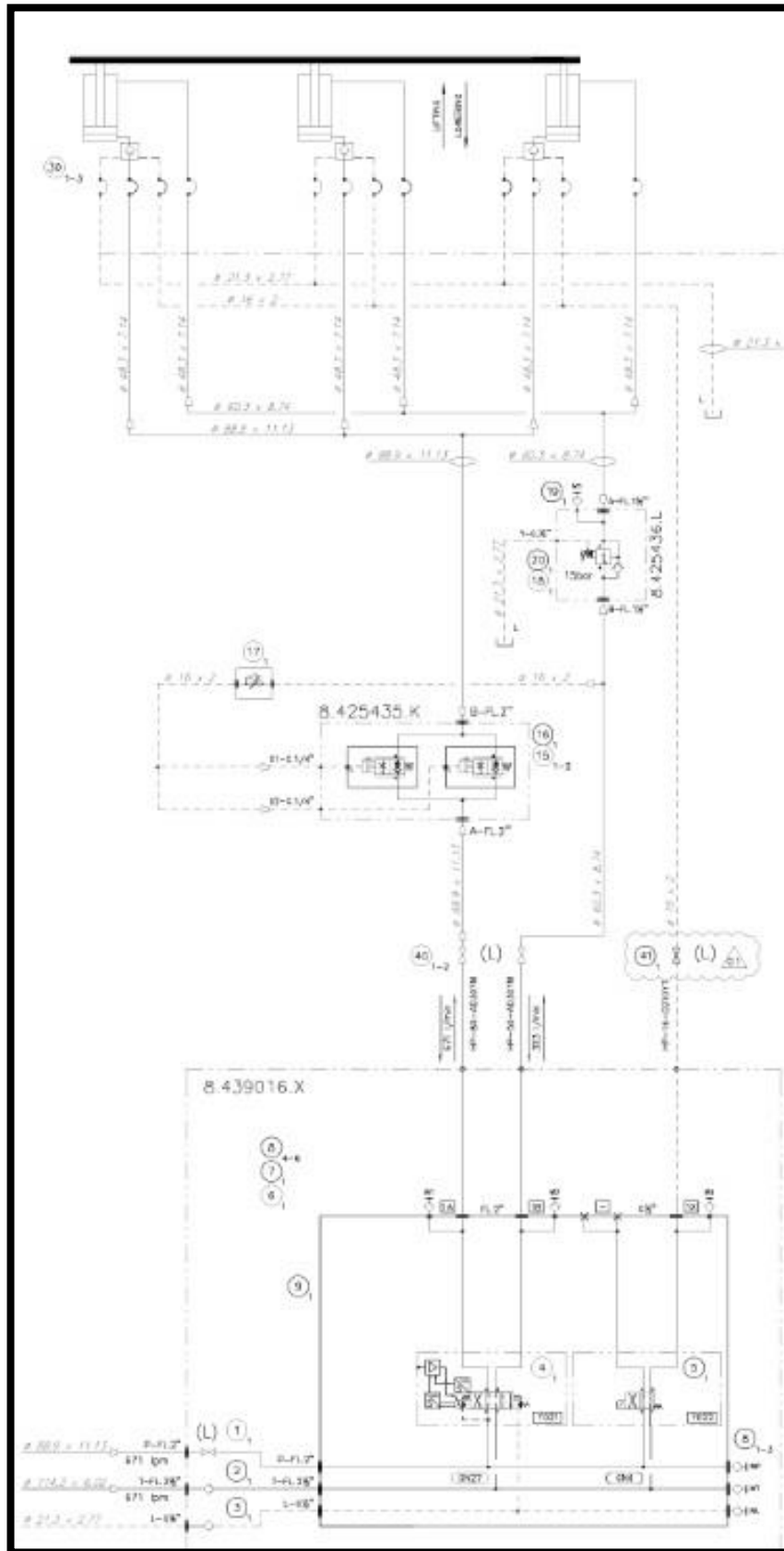
U gornjoj tablici je navedena specifikacija samog cilindra, koji služe kao ulazni podaci kod testiranja rada. Krug je kontroliran proporcionalnim ventilom za dostavu ulja u cilindre. Podešavanje i provjera dobavnog pritiska proporcionalnih ventila ide isključivo uz suradnju automatičara i mehaničara. Automatičar daje određeni postotak referentnog pritiska, na izlaznoj liniji od bloka ventila do ulazne (A) strane cilindra se mjeri izlazni pritisak i računa po referentnoj vrijednosti. (10 % od 150 bar = 15 bar-a) – isto očitavanje bi trebalo biti i na manometru da potvrdimo usklađenost rada.

Slika 10 Izgled bloka ventila sa proporcionalnim ventilom



(Izvor: autor)

Slika 11 Hidraulični dijagram pokretanja magnetnih glava



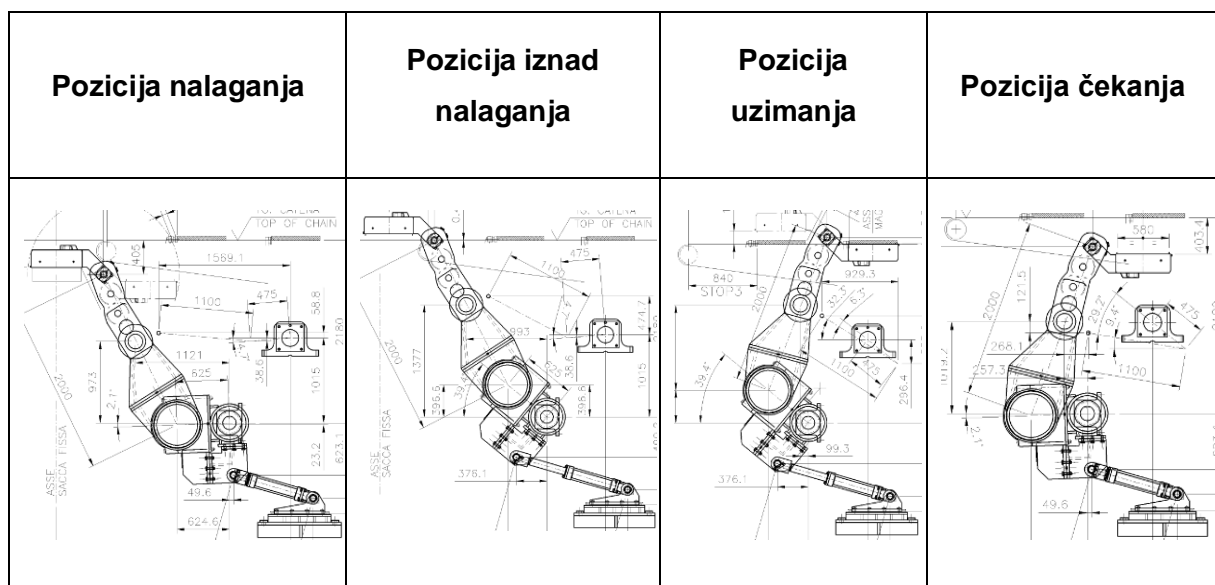
(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Danieli)

Pošto su cilindri spojeni u seriji, na jedan od cilindara je postavljen i pretvarač pozicije, koji ima isti hod kao i cilindar. Kalibracija istog se vrši da se daje nulta i maksimalno otvorena pozicija (maksimalni hod od 430 mm), koja kasnije služi automatskom sistemu za regulaciju brzine otvaranja i zatvaranja cilindra (Q – protoka). Na ulazu u A-stranu (otvaranja) cilindra su postavljeni i balansni ventili koja služi za kontrolu/regulaciju protoka ulja i služi za eliminaciju bilo kakvih devijacija u protoku koja može nastati zbog zaostalog tlaka ili fluktuacija u cjevovodu. Bez obzira na promjene tlaka u sistemu, postavljena brzina protoka ostaje nepromijenjena. Na ulazu u svaku A-stranu cilindra je postavljen nepovratni ventil zbog težine konstrukcije i ako konstrukcija mora biti zadržana u gornjoj poziciji. Da bi spustili konstrukciju, moramo prvo aktivirati elektroventil (5) koja otvara nepovratni ventil i ulje ide direktno u liniju povrata prema spremniku (T).

Kod aktivacije zatvaranja cilindra (B) strana imamo i ventil za smanjenje pritiska koji je podešen na 15 bar-a. Razlog toga je što linija operira na 150 bar-a, a ako bi taj pritisak pustili u B-stranu cilindra koja je ionako pod pritiskom od 15 tona (najmanje), došlo bi do naglog spuštanja konstrukcije i oštećenja iste. Sam protok je reguliran na 2:1, dakle kod zatvaranja cilindra, brzina je duplo manja od otvaranja.

Sad kad smo objasnili funkciju hidrauličkog kruga cilindra, moramo objasniti i faze rada magnetskih glava.

Slika 12 Faze rada magnetnih glava



(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Danieli)

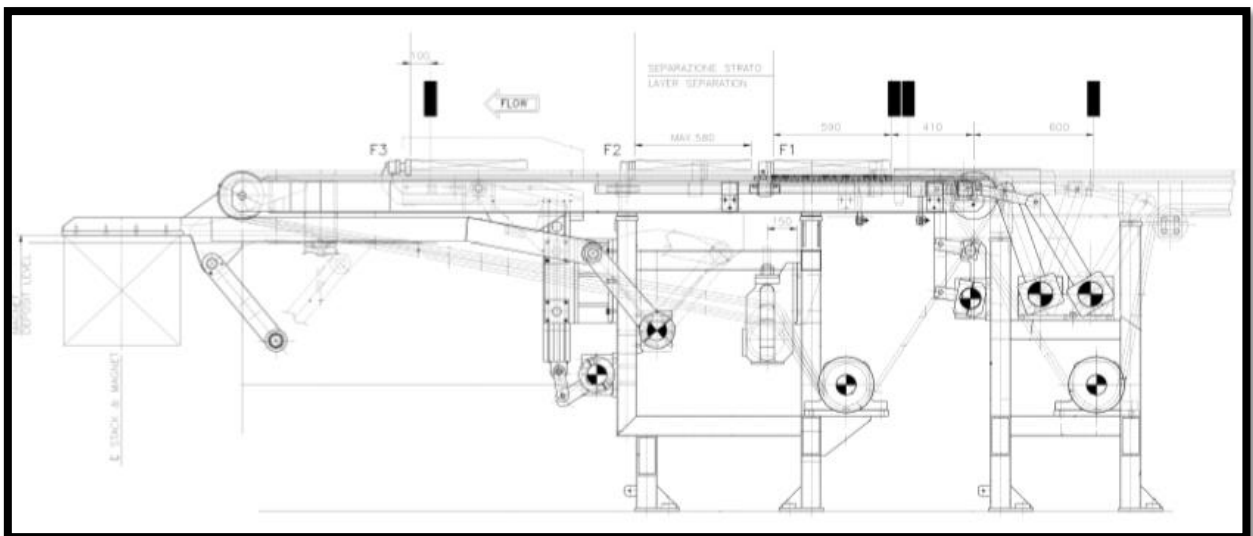
Na **slici 23.** su vidljive faze rada magnetnih glava. Da bi se mogle objasniti sve faze rada, potrebno je razumjeti kako su pogonjene magnetne glave. Rotacijsko gibanje glava pogonjeno je elektromotorom kao i translacijsko gibanje drugim elektromotorom. Jedna linija sadrži ukupno 8 magnetnih glava. Rotacija se odvija u  $180^\circ$  gdje gornji dio konstrukcije sadrži zupčanike za prijenos gibanja (kao reduktor) i prijenosno vratilo prolazi kroz svih 8 glava. Translacijsko gibanje je spojeno kardanskim vratilom na konstrukciju. Dizanje i spuštanje pogonjeno je hidrauličnim cilindrima. Dakle, postoje 4 faze rada:

1. **Faza čekanja** – hidraulički cilindri su zatvoreni, glave se nalaze na  $0^\circ$ .
2. **Faza uzimanja** – hidraulični cilindar diže konstrukciju, glave se nalaze i dalje na  $0^\circ$ .
3. **Faza iznad nalaganja** – istovremeno se dešava translacija konstrukcije na poziciju iznad nalaganja i rotacija glave magneta na  $180^\circ$ .
4. **Faza nalaganja** – zatvaraju se hidraulični cilindri, a pozicija konstrukcije ostaje ista kao u prethodnoj fazi.

### 3.3 Uloga pneumatike u slaganju materijala

Same magnetne glave ne bi bile dovoljne za slaganje materijala da u toj sekvenci nemamo posebnu liniju kontrolirana pneumatskim cilindrima koja se u ovom slučaju zove – *layer forming transfer* – linija za formiranje slojeva (**slika 24.**).

Slika 13 Linija za formiranje slojeva

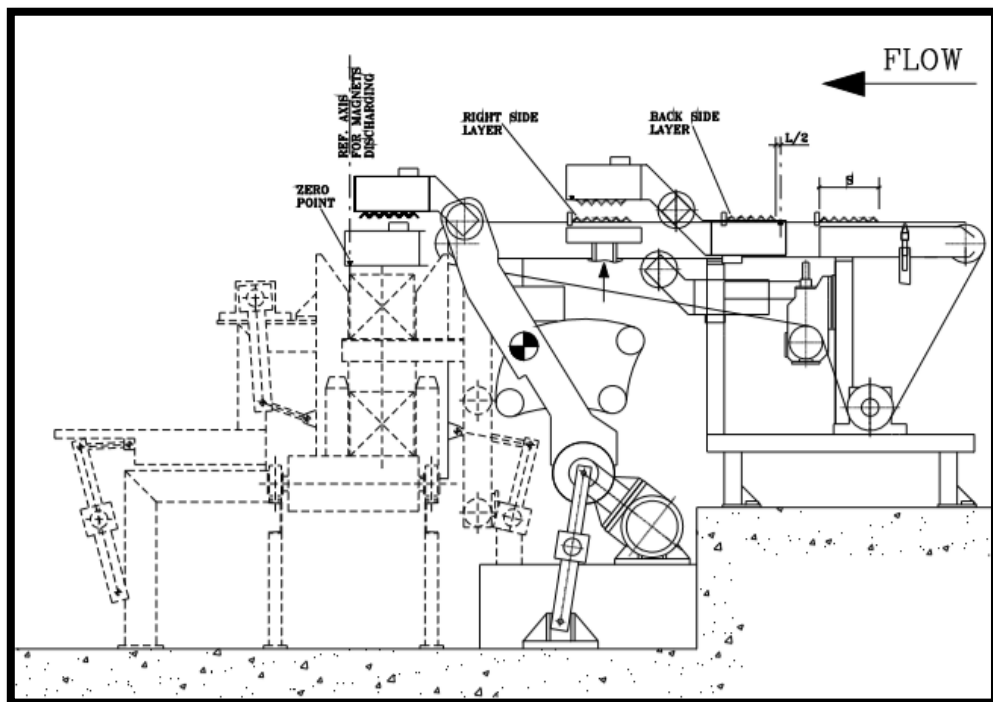


(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Danieli)

Linija za formiranje slojeva sadrži sljedeće komponente:

- Lančani prijenos materijala (transverzalni) – pogonjen elektromotorom.
- Podizač – za prvo odvajanje materijala – pogonjen pneumatskim cilindrom
- Magnetni separator – pogonjen pneumatskim cilindrom sa više položaja.
- Stoper 1 – za odvajanje prvog sloja materijala – pogonjem pneumatskim cilindrom.
- Stoper 2 – za odvajanje drugog sloja materijala – pogonjen pneumatskim cilindrom.
- Stoper 3 – za zadržavanje sloja materijala koji se prebacuje magnetnim glavama – fiksiran na konstrukciju.
- Gurači – fiksiraju materijal na snopu zbog mogućeg povlačenja tokom povrata magnetnih glava u početnu poziciju – pogonjen pneumatskim cilindrima.

Slika 14 Prikaz linije za formiranje slojeva sa magnetskim glavama

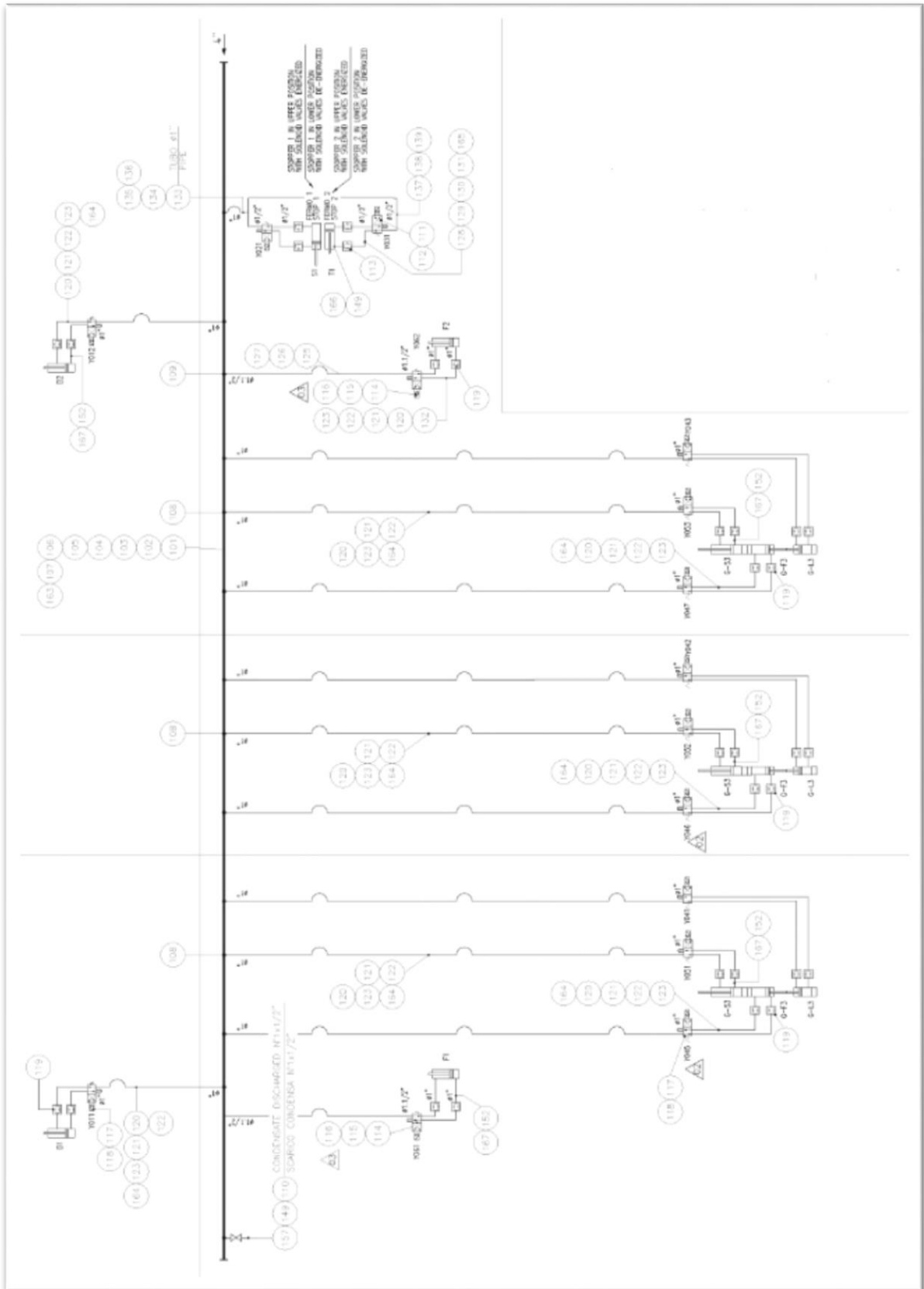


(Izvor: Functional description - DP04UW015701, Brunisso, Buzzi, Crainich, Danieli Automation, Udine, Italija, 2010./2011.)

Linija (**slika 26.**) se sastoji od jedne (glavne) cijevi u kojoj se nalazi stlačeni zrak spojenju na izvor. Na ulazu u liniju je postavljen filter-regulator-lubrikator, na kraju linije

cijev je zatvorena flandžom. Tlak u liniji je podešen na 5 bara. Ulaz i izlaz zraka iz cilindra je spojen na istu (glavnu) cijev (serijski spoj). Svi cilindri na liniji upravljani su dvostranim pneumatskim elektromagnetnim ventilima sa povratnom oprugom (SMC) i spojevima od 1 inch-a sa fleksibilnim cijevima. Na ulaznim (A) i izlaznim (B) fleksibilnim cijevima su postavljeni regulatori protoka zraka, zbog regulacije brzine otvaranja/zatvaranja pneumatskih cilindara. Magnetni separatori su kontrolirani pneumatskim cilindrom sa više položaja, gdje za svaki od 3 položaja (visina) imaju poseban elektromagnetni ventil (primjer **slika 28.**).

Slika 15. Dijagram pneumatske linije za liniju formiranja slojeva



(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Danieli)



Povratne informacije o gornjoj i donjoj poziciji stopera/separatora ili izlaza/ulaza gurača dobiveni su preko senzora blizine (proximity sensor) koji su postavljeni i podešeni na blizini od 10 mm od poluga koja je dodatno zavarena na dio konstrukcije koja se kreće promjenom pozicije pneumatskog cilindra – **slika 27**.

Slika 16 Senzor blizine (IFM)



(Izvor: [Ph.rs-online.com](http://Ph.rs-online.com))





Slika 17 Pneumatski ventil i fleksibilne cijevi spojene na pneumatski cilindar sa više položaja – magnetni separatori



(Izvor: autor)

Nakon objašnjenja rada svih sustava sa naglaskom na pneumatiku i hidrauliku, treba se naglasiti da svaki podsustav se zasebno pušta u rad i puštanjem jedne po jedne komponente sa svim mehaničkim podešavanjima. Svaka pozicija se zasebno testira kao i očitavanje pozicija na HMI panelu. Taj dio se radi u prijelaznom dijelu pred puštanje u pogon i puštanje u pogon. Tokom puštanja u rad izvode se razne sekvence i simulacije bez radnog materijala na liniji, koje se kasnije usavršava sa samim materijalom. Za svaku od tipa puštanja u pogon (hladni ili topli) uvijek postoje dodatna fina podešavanja ili takozvani (fine tuning). Pogotovo sa mehaničke strane. Izgled rada linije u praksi prikazan je u nekoliko slika (**Slika 29**).

Slika 18 Prikaz sekvence od sortiranja do naližeganja

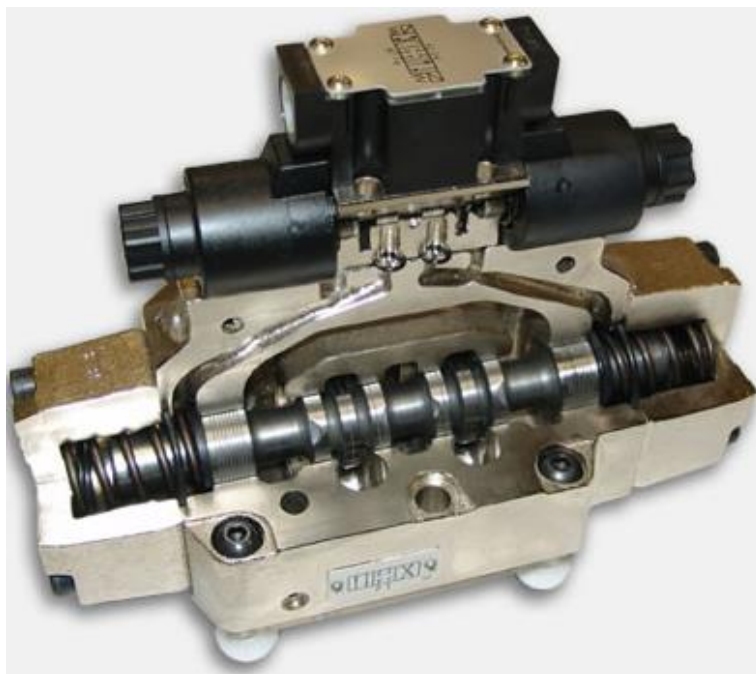
Faza formiranja slojeva	Faza uzimanja
	
Faza prebacivanja	Faza naližeganja
	
(Izvor: autor)	

#### 4. KRITIČKI OSVRT I PROBLEMI KOJI MOGU NASTATI ZBOG NEADEKVATNOG PUŠTANJA U RAD

Autor smatra da ukoliko se ne isplanira dovoljno dobro puštanje u rad i ukoliko se ne provjeri prije samog startanja pumpi, pročišćenost cijevi, povezanost cjevovoda i zategnutost flandži, stanje otvorenosti/zatvorenosti ventila, stanje spremnika za ulje prije dodavanja ulja, postoji velika mogućnost kvarova u sistemu koji mogu oštetiti skupu opremu i produžiti rokove projekta, gdje uz mogućnost penalizacije treba izdvojiti novce za novi dio (ako ne postoji zamjenski na stanju, moramo čekati novi), ponovno startati liniju.

Ako se krene odmah nakon puštanja hidrauličke linije u pogon, sa podešavanjem elektroventila, a nismo ostavili dovoljno vremena da se cjevovod pročisti i nismo provjerili stupanj onečišćenosti filtera na liniji da bi utvrdili da možemo ići u daljnje korake puštanja u rad, vrlo je moguće da se oštete špule i kućišta samih ventila, a zatim i kućišta samih cilindara gdje posljedično dolazi do oštećenja istih, koje posljedično moramo zamijeniti novima.

Slika 19 Prikaz unutrašnjosti ventila (špule i kućišta)



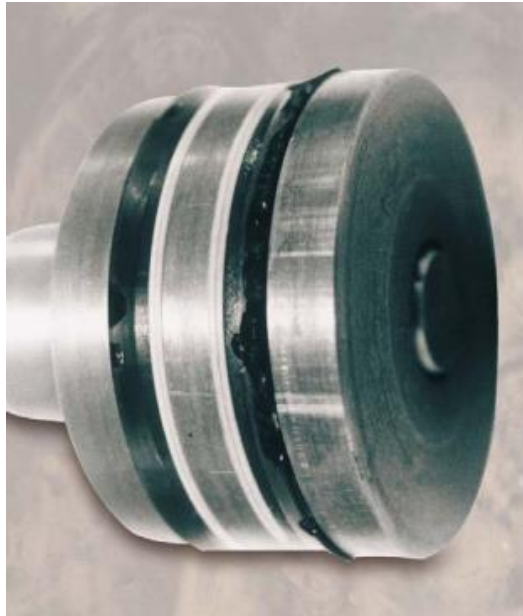
(Izvor: [www.fpti.org](http://www.fpti.org))

Slika 20 Prikaz oštećenja špule



(Izvor: <https://www.mobilehydraulictips.com/>)

Slika 21 Oštećenje klipa cilindra



(Izvor: [www.parker.com](http://www.parker.com))

Ako se razmatra samo oštećenje pumpe, koje za hidraulične sisteme rijetko koje skladište klijenta na gradilištu ima stanju, onda govorimo o skupim troškovima koji povećavaju radne sate za puštanje u rad i znatno produžuju trajanje projekta.

Ako se nepažnjom tokom puštanja u rad pokrenu komponente linije, a pritom nisu provjerene interferencije i stanje linije, moguća su oštećenja same opreme koje, ako se ne mogu popraviti na gradilištu, moraju se ponovno fabricirati, a pri tome ne želim spominjati važnost komunikacije između involviranih zaposlenika, gdje postoji veliki rizik i po ljudski život.

## ZAKLJUČAK

U radu su detaljno opisane faze projekta puštanja u rad, od montaže do finalne predaje operativnog postrojenja klijentu. Već je napomenuto da se nijedna faza ne smije preskakati, jer kao i kod gradnje kuće (ne možemo imati krov, a nismo postavili ni temelj), tako i kod puštanja u rad postrojenja moramo slijediti razne sigurnosne i tehničke procedure da bi izbjegli oštećenje opreme, sustava ili najgore ljudski život. Istaknute su bitne procedure tokom svake faze, od kojih je prva, sigurnost na radu i za svaku je fazu dan generalni pregled bitnih procesa. Također je naglasak stavljen na dvije bitne faze u ovakvim projektima, gdje je puštanje u pogon glavna faza u kojoj postrojenje „oživljavamo“ iz montažnog u operativni dio. Nakon puštanja u pogon, posao još nije gotov jer se mora klijentu dokazati da linija može proizvoditi sigurno i pouzdano za ono zbog čega je montirana i puštena u rad.

Međusobna suradnja tima za puštanje u rad, kao i ostalih sudionika od strane klijenta, dobavljača i izvođača od glavnog je značaja za efikasno puštanje u rad, uz poštivanje svih ostalih mjera sigurnosti. Tokom puštanja postrojenja u rad jako je bitna međusobna komunikacija između odgovornih inženjera za puštanje u rad, jer često prilikom ručnog pokretanja, osoba koja ručno „forsira“ ventil, ne vidi samu kretnju komponenti na stroju. Uvijek je preporuka, provjeri sve barem dva puta.

Autor je sudjelovao na prikazanoj liniji u periodu od listopada.2015. do svibnja.2016. U tom periodu je pustio u pogon prvu liniju za slaganje i pakiranje čeličnih profila, a drugu liniju je pripremio za puštanje u rad. Šest mjeseci nakon odlaska finalno atestiranje je odrađeno i linija je preuzeta od strane klijenta gdje i dan danas uspješno radi.

Praktično smo prikazali i objasnili u kratkim crtama bitne stavke za puštanje u rad hidrauličnih i pneumatskih sustava, te njihovu ulogu na stroju prikazanom u praksi nakon svih podešavanja u fazi toplog puštanja u rad, gdje je ujedno linija bila spremna i za pokretanje "startup", gdje su pumpe za izlazni pritisak iz spremnika podešene na 150 bar-a (nominalni pritisak u sustavu) gdje se kasnije na ventilnim blokovima gdje je to bilo zahtijevano projektom reducirao pomoću regulatora pritiska za određene komponente sustava. Radna temperatura hidrauličkog ulje je idealna na 45° C, gdje

ako je temperatura ispod 35 °C, u spremniku se pale grijači ulja, a ako je iznad 50 °C, uključuje se sustav hlađenja, ukoliko se desi da je pretvarač temperature pokvaren, hidraulička jedinica se gasi da bi spriječili bilo kakvu mogućnost oštećenja u sustavu. Pneumatska linija za rad stopera je serijski spojena na glavnu cijev gdje je ulazni pritisak bio 5 bar-a, na ulazu u svaku pneumatsku liniju je postavljen filter-regulator-lubrikator da bi spriječili ulaz prljavštine u ventile, a lubrikator za podmazivanje špula. Na ulazu/izlazu iz svake strane pneumatskih cilindara su postavljeni regulatori protoka, kojima se podešava brzina otvaranja/zatvaranja cilindra. Cjelokupni sustav za rad hidraulike i pneumatike se sastoji od raznih senzora, pretvarača i fotočelija koji su dio regulacije rada sustava koji moraju biti ispravno podešeni i softverski povezani za ispravan rad cjelokupnog sustava.

Na kraju, može se reći da najskuplja iskustva su i najvrjednija, ali je najskuplje je naučiti iz osobnog lošeg iskustva. Autor se osobno uvjerio da neadekvatnim puštanjem u rad i ne slijedenjem tehničkih procedura, ali i logike, dolazi do jako skupih pogrešaka kontaminacije hidrauličnog sistema, gdje se dešavalo da zbog oštećenih klipova i izgrebenih kućišta cilindara dolazi do nemogućnosti pravilnog rada opreme i u nekim slučajevima, samovoljno kretanje opreme zbog oštećenja cilindara i ventila, također kad nisu slijedene procedure za zamjenske dijelove, rokovi za nabavku novih dijelova mogu biti dugi i skupi.

## LITERATURA

- [1] BomDels – Project Vizag Steel (DP04UW01), India, Danieli, Udine, Italija, 2010.
- [2] Functional description - DP04UW015701, Brunisso, Buzzi, Crainich, Danieli Automation, Udine, Italija, 2010./2011.
- [3] Horsely David, „Process plant commissioning“, 2nd edition, IChemE, Rugby, UK, 2007.
- [4] Kolobar R.: Pneumatika i hidraulika, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2007.
- [5] Petrić J. „Hidraulika i pneumatika“ 1. dio, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012.
- [6] [https://commissioningcoach.s3.amazonaws.com/free\\_download/What\\_is\\_Commissioning\\_and\\_related\\_terms\\_Rev\\_01.pdf](https://commissioningcoach.s3.amazonaws.com/free_download/What_is_Commissioning_and_related_terms_Rev_01.pdf)
- [7] [https://www.parker.com/literature/Literature%20Files/euro\\_cylinder/v4/Trouble\\_1242-1-gb.pdf](https://www.parker.com/literature/Literature%20Files/euro_cylinder/v4/Trouble_1242-1-gb.pdf)
- [8] [https://en.wikipedia.org/wiki/Project\\_commissioning](https://en.wikipedia.org/wiki/Project_commissioning)
- [9] [www.onlinecommissioningtraining.com](http://www.onlinecommissioningtraining.com)

## POPIS SLIKA:

Slika 1a Gentogram sa aktivnostima projekta.....	5
Slika 1b Udarana lista (eng.punch list).....	5
Slika 2 Faze prije i nakon puštanja u rad.....	6
Slika 3 Bočni prikaz (skica) konstrukcije koju puštamo u rad.....	7
Slika 4 Prikaz disciplina zaduženih za završetak konstrukcije.....	12
Slika 5 Prikaz aktivnosti faze pred puštanja u pogon.....	15
Slika 6 Gumb za hitne slučajeve „gljiva“.....	18
Slika 7 Podjela puštanja u pogon.....	19
Slika 8 Tok energije kroz hidraulički sustav.....	24
Slika 9 Princip rada linearne klipne pume.....	25
Slika 10 Podjela hidrauličnih pumpe.....	26
Slika 11 Klipna pumpa: a) radijalna s ekscentričnim blokom; b) radijalna s ekscentričnom osovinom; c) aksijalna sa zakrenutom pločom; d) aksijalna sa zakrenutim bunjem.....	28
Slika 12 Jednoradni cilindar: lijevo – uronjenom klipnjačom; desno – s oprugom.....	29
Slika 13 Dvoradni cilindar: lijevo – diferencijalni; desno – s prolaznom klipnjačom.....	30
Slika 14 Razvodnici: a) 2/2; b) 3/2; c) 4/2; d) 4/3; e) 2 razvodna položaja upravljani elektromagnetom i oprugom.....	31
Slika 15 Razvodnik - a) simbol posredno upravljano 4/3 razvodnika; b) posredno upravljani 4/3 razvodnik.....	32
Slika 16 Dijagram spremnika hidrauličnog ulja.....	34
Slika 16a Nacrt spremnika hidrauličnog ulja.....	35
Slika 17 Dijagram glavnih pumpi.....	37
Slika 18 Dijagram opskrbe linije (P).....	37
Slika 19 Dijagram re-cirkulacijske linije.....	38
Slika 20 Dijagram linije povrata.....	39
Slika 21 Izgled bloka ventila sa proporcionalnim ventilom.....	41
Slika 22 Hidraulični dijagram pokretanja magnetnih glava.....	42
Slika 23 Faze rada magnetnih glava.....	43
Slika 24 Linija za formiranje slojeva.....	44
Slika 25 Prikaz linije za formiranje slojeva sa magnetskim glavama.....	45
Slika 26 Dijagram pneumatske linije za liniju formiranja slojeva.....	47
Slika 27 Senzor blizine (IFM).....	48
Slika 28 Pneumatski ventil i fleksibilne cijevi spojene na pneumatski cilindar sa više položaja – magnetni separatori.....	48
Slika 29 Prikaz sekvence od sortiranja do nalijeganja.....	49
Slika 30 Prikaz unutrašnjosti ventila (špule i kućišta).....	50
Slika 31 Prikaz oštećenja špule.....	51
Slika 32 Oštećenje klipa cilindra.....	51



POPIS TABLICA:

Tablica 1 Primjer jednostavnog obrasca procjene rizika .....	9
Tablica 2 Specifikacija hidrauličnog cilindra .....	40

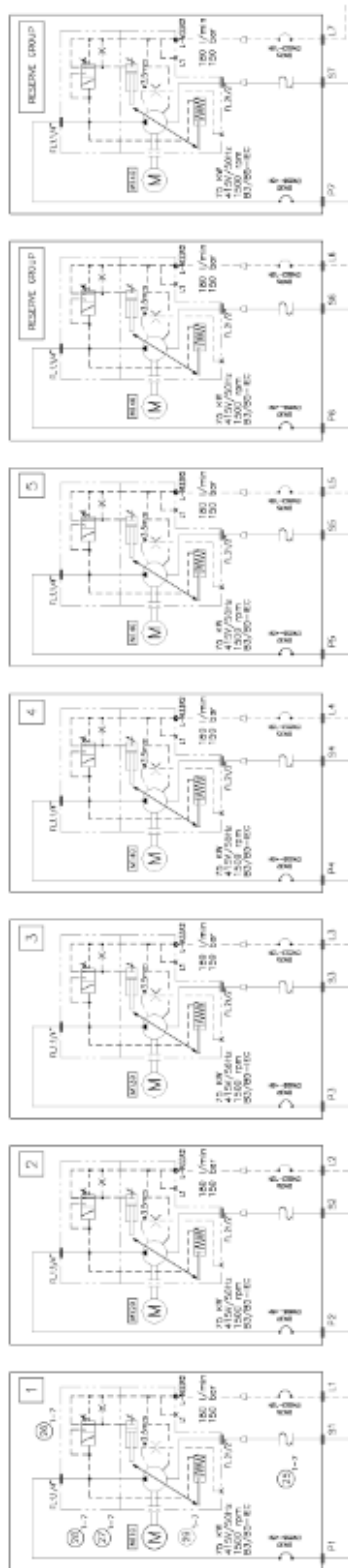
## POPIS UPOTRIJEBLJENIH OZNAKA, SIMBOLA I JEDINICA SI

Simbol/Oznaka	Jedinica	Naziv
A	[m <sup>2</sup> ]	Površina.
t	[°C]	Celzijev stupanj.
V	[m <sup>3</sup> ]	Volumen.
v	[m/s]	Brzina.
Q	[m <sup>3</sup> /s]	Protok.
p	[Pa] [bar]	Tlak, 1 Bar = 105 Pa.
C	[m]	Hod cilindra

## **PRILOZI:**

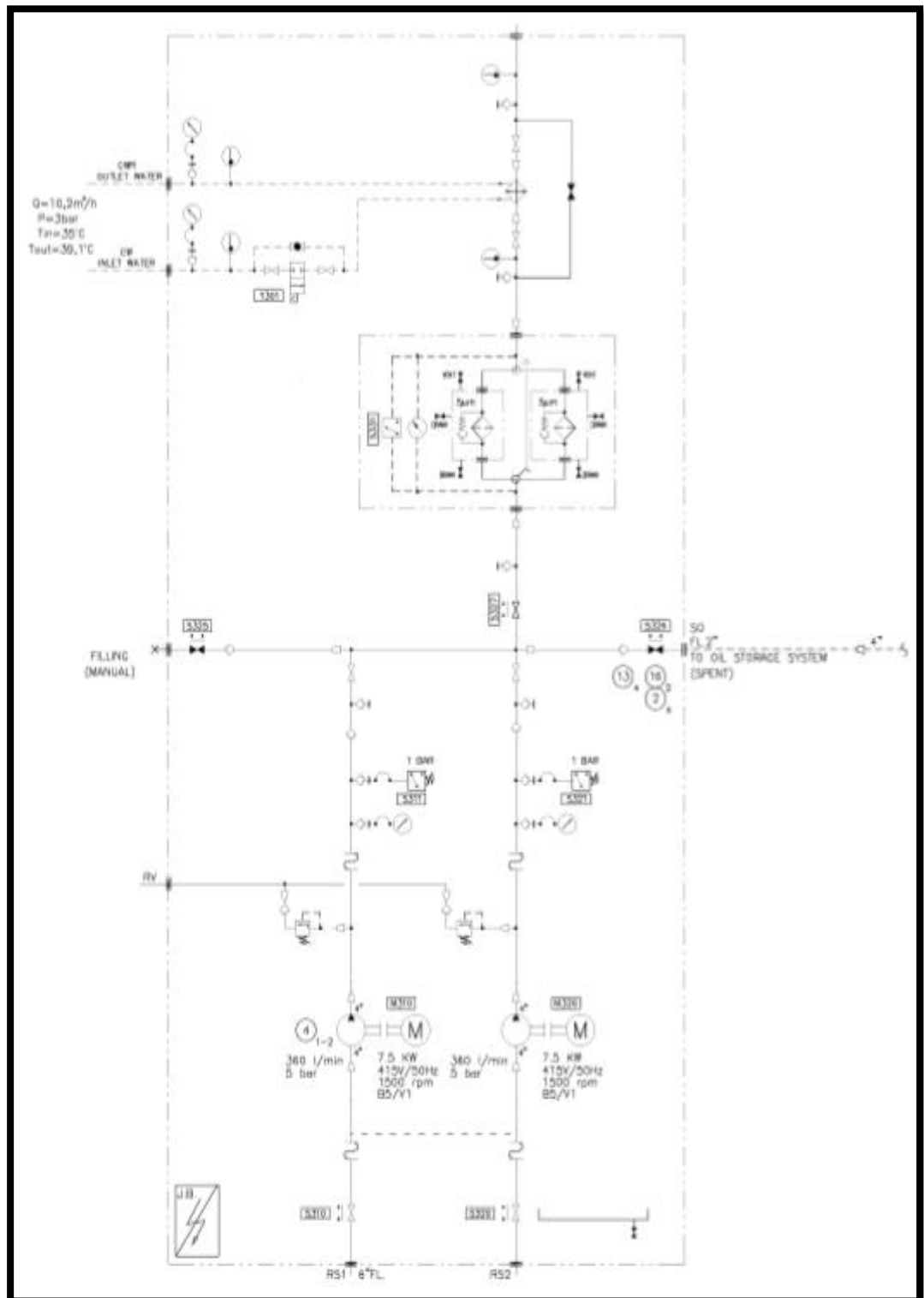
1. Dijagram glavnih pumpi
2. Dijagram recirkulacijskih pumpi i sustava

# Prilog 1. Dijagram glavnih pumpi



(Izvor: BomDels – projektna dokumenacija Danieli)

## Prilog 2. Dijagram recirkulacijskih pumpi i sustava



(Izvor: BomDels – projektna dokumentacija Danieli)