

# Analiza trošenja hidrauličkih cilindara poljoprivrednih strojeva

---

**Kraljević, Josip**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:961087>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-17**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Josip Kraljević

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

**ANALIZA TROŠENJA HIDRAULIČKIH CILINDARA POLJOPRIVREDNIH  
STROJEVA**

**Diplomski rad**

Osijek, 2022.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Josip Kraljević

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

**ANALIZA TROŠENJA HIDRAULIČKIH CILINDARA POLJOPRIVREDNIH  
STROJEVA**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Goran Heffer, predsjednik
2. dr. sc. Ivan Vidaković, mentor
3. izv. prof. dr. sc. Vjekoslav Tadić, član

Osijek, 2022.

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. PREGLED LITERATURE .....	2
2.1 Hidraulika .....	2
2.2 Prednosti i nedostaci hidrauličkog sustava .....	3
2.3 Hidraulički sustav .....	4
2.3.1 Hidraulička pumpa.....	4
2.3.2 Hidraulički fluid.....	5
2.3.3 Hidraulički ventili .....	7
2.3.4 Hidraulički motor.....	9
2.3.5 Hidraulički cilindar .....	10
2.4 Usporedba energetske sustava.....	12
2.5 Primjena hidrauličkih sustava.....	12
2.5.1 Hidraulika u poljoprivredi.....	13
2.6 Dijelovi hidrauličkog cilindra.....	16
2.6.1 Klip .....	16
2.6.2 Klipnjača .....	19
2.6.3 Glava cilindra.....	20
2.6.4 Cijev cilindra.....	21
2.6.5 Prigušni klip .....	21
2.7 Princip rada hidrauličkog cilindra .....	22
2.7.1. Jednoradni cilindar.....	22
2.7.2 Dvoradni cilindar .....	23
2.7.3 Teleskopski cilindar .....	24
2.8 Trošenje hidrauličkog cilindra.....	25
3. MATERIJALI I METODE .....	27
3.1 Matej Hidraulik d.o.o.....	27
3.2 Pravilan rad hidrauličkog cilindra .....	28
3.3 Vrste hidrauličkog održavanja.....	29
4. REZULTATI.....	30
4.1 Klipnjača hidrauličkog cilindra .....	30
4.2 Klipne brtve i klizeći prstenovi.....	31
4.3 Šavna hidraulična cijev.....	32
5. RASPRAVA.....	33

5.1 Analiza procesa trošenja i korozije na klipnjači hidrauličnog cilindra.....	33
5.1.1 Otklanjanje kvara .....	34
5.2 Analiza procesa trošenja klipne brtve i klizećih prstenova .....	36
5.2.1 Otklanjanje kvara .....	38
5.3 Analiza procesa trošenja šavne hidraulične cijevi .....	38
6. ZAKLJUČAK .....	40
7. POPIS LITERATURE .....	42
8. SAŽETAK.....	44
9. SUMMARY .....	45
10. POPIS SLIKA .....	46
11. POPIS TABLICA.....	48
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	
BASIC DOCUMENTATION CARD	

## 1. UVOD

Hidraulika je tehnička disciplina koja se bavi praktičnom primjenom hidromehanike odnosno hidrauličkim sustavima čiji je zadatak pretvorba, prijenos i upravljanje energijom. Hidraulični pogon koristi fluid u zatvorenom sustavu kao sredstvo prijenosa energije za pomicanje komponenti ili njihovo linearno i rotacijsko gibanje. Svaki hidraulični sustav je konstruiran tako da odgovara određenoj namjeni. Prijenos snage u hidrauličkom sustavu ostvaruje se radom hidraulične pumpe koja pretvara mehaničku energiju u hidrauličnu, pomoću ventila za kontroliranje protoka hidrauličnog ulja, hidrauličnih cilindara putem kojih će se hidraulička energija pretvoriti u linearnu silu ili linearno gibanje te hidrauličnog motora za pretvorbu energije u kontinuirano rotacijsko gibanje što je u nastavku detaljno objašnjeno. Bez hidrauličnih cilindara mnoge industrije danas ne bi postojale. Moramo biti svjesni da smo okruženi hidraulikom te da se s njom susrećemo u svakodnevnom životu. Hidraulični cilindri obično se nalaze u svim vrstama modernih strojeva i vozila. Koriste se u dizalicama, bagerima, kiperima, teretnim vozilima, poljoprivrednim strojevima, alatnim strojevima itd., ali i u zrakoplovima i tenkovima. Klasičan primjer hidrauličnog cilindra je kočnica u automobilu ili mehanizam za istovar kod prikolica za prijevoz tereta.

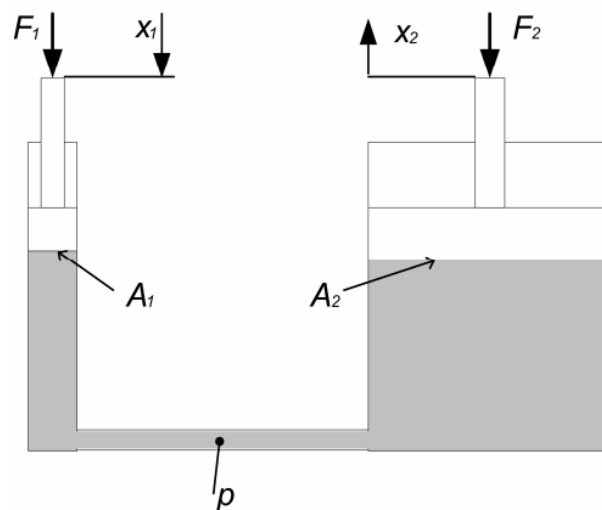
Diplomski rad je podijeljen u dva glavna dijela. U prvom dijelu govori se o hidrauličkom sustavu, dijelovima hidrauličkog sustava te su navedene prednosti i nedostaci istog. Detaljno je objašnjen sklop hidrauličkog cilindra te princip rada istog. Drugi dio je eksperimentalni dio gdje se govori o najčešćim kvarovima hidrauličkog cilindra na dijelovima poljoprivredne tehnike koji su nastali nekakvim trenjem ili trošenjem. U radu je opisano otklanjanje spomenutih kvarova po koracima. Eksperimentalni dio odrađen je u firmi specijaliziranoj za izradu i popravak hidrauličkih cilindara „Matej hidraulik“ čije je sjedište u Vrpolju.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1 Hidraulika

Hidraulika je dio pogonske tehnike gdje se rješenje raznih pogonskih zadataka izvršava pomoću pretvorbe, upravljanja, regulacije i prijenosa energije putem tekućeg ili plinovitog stlačenog medija. Hidraulika se bavi prijenosom energije i informacija putem stlačene tekućine (kapljevine), a može se podijeliti na hidrodinamiku i hidrostatiku. U hidrodinamici energija se prvenstveno prenosi kinetičkom energijom fluida u strujanju, dok se u hidrostatici energija prenosi prvenstveno tlakom fluida. Stoga hidrodinamičke sustave karakterizira razmjerno niski tlak i visoka brzina strujanja, dok hidrostaticke sustave određuju razmjerno visoki tlakovi i niže brzine strujanja fluida. Predmet proučavanja i edukacije onoga što na hrvatskom jeziku zovemo hidraulika su u pravilu sustavi, strojevi i uređaji koji rade na principu hidrostatike (Petrić, 2012.).

Osnovni princip rada hidrostatickih strojeva i sustava zasnovan je na Pascalovom zakonu iz 1651 godine koji nam govori :„ U fluidu u mirovanju tlak se širi jednoliko u svim smjerovima“ (Izvor: Link 1). Obično se Pascalov zakon ilustrira hidrostatickim prijenosnikom koji je ilustriran na slici 1.



Slika 1. Hidrostaticki prijenosnik

(Izvor: [http://titan.fsb.hr/~jpetric/Udzbenici/Udzbenik\\_HIDRAULIKA\\_JPetric.pdf](http://titan.fsb.hr/~jpetric/Udzbenici/Udzbenik_HIDRAULIKA_JPetric.pdf))

Iz slike 1. uočavamo da je tlak:

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

To znači da je moguće je prenositi sile koristeći tlak fluida, a tlak  $p$  u sustavu predstavlja omjer sile koja djeluje na fluid ( $F$ ) i pripadajuće površine ( $A$ ) (Petrić, 2012.).

## 2.2 Prednosti i nedostaci hidrauličkog sustava

Glavne prednosti hidrauličnih energetske sustava su sljedeće:

1. Visok omjer snage i težine odnosno *gustoća snage*. Gustoća snage predstavlja snagu koju daje neki stroj po jedinici volumena (volumenska gustoća snage) ili po jedinici mase (masena gustoća snage). Što je stroj manji i lakši za istu snagu, to bolje.
2. Samopodmazivanje
3. Visoki omjeri sile, mase i momenta prema inerciji, što rezultira velikom sposobnošću ubrzanja i brzim odzivom hidrauličkih motora
4. Jednostavna zaštita od preopterećenja
5. Mogućnost skladištenja energije u hidrauličkim akumulatorima
6. Fleksibilnost prijenosa u usporedbi s mehaničkim sustavima
7. Dostupnost i rotacijskih i pravolinijskih gibanja
8. Sigurnost u pogledu opasnosti od eksplozije (Izvor: Link 2).

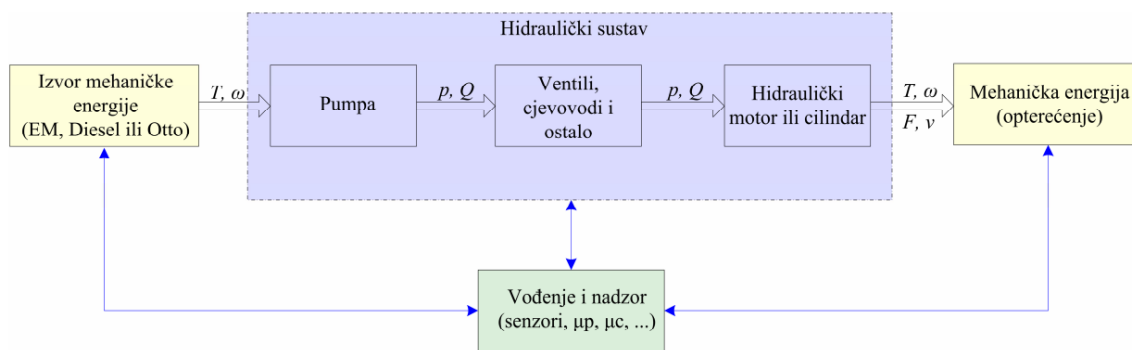
Hidraulički sustavi imaju sljedeće nedostatke:

1. Visok trošak proizvodnje zbog zahtjeva malih zazora i visoke preciznosti proizvodnog procesa
2. Opasnost od požara pri korištenju mineralnih ulja
3. Problemi s filtracijom ulja
4. Potreba za povratnim vodovima kako bi se izbjeglo onečišćenje uljem iz sustava
5. Bučnost (u odnosu na električne pogone)
6. Hidraulički sustavi nisu fleksibilni ni precizni poput električnih uređaja prilikom upravljanja malim teretima (Grbić, 2021.).



## 2.3 Hidraulički sustav

Promatrajući hidraulički sustav kroz ispod prikazani shematski prikaz (slika 2.), možemo zaključiti da navedeni sustav ima ulogu prijenosnika energije. Na shemi se može uočiti da na početku postoji izvor mehaničke energije (u pravilu elektromotor ili motor s unutarnjim izgaranjem daju okretni moment koji pokreće pumpu), te na kraju niz pretvorbe energije završava ponovo mehaničkom energijom (hidraulički motor ili cilindar daju okretni moment ili silu koja pogoni neki teret). Stoga je očito da hidraulički sustav ima ulogu prijenosnika energije, koji svoju primjenu nalazi zbog niza dobrih svojstava koje pri tom prijenosu energije ima (Petrić, 2012.).



Slika 2. Prikaz toka energije kroz hidraulički sustav

(Izvor: Petrić, 2012.)

### 2.3.1 Hidraulička pumpa

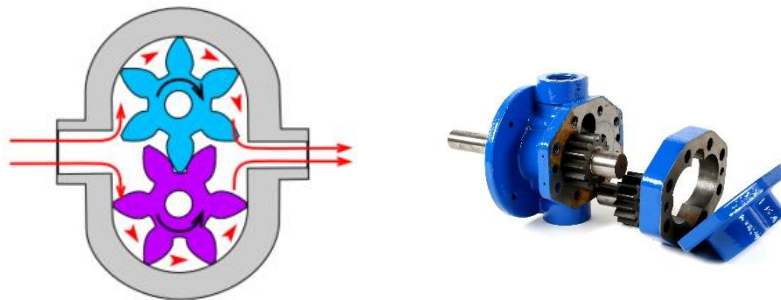
Hidraulička pumpa je pogonski stroj, a ujedno i sastavni dio hidrauličkog pogona, pokretan izvorom mehaničke energije kao što su elektromotor ili motor s unutarnjim izgaranjem. Hidraulička pumpa pretvara mehaničku energiju pogonskog motora u hidrauličnu energiju fluida.

Pumpe rade na principu da „uhvate“ određeni volumen fluida u nekom prostoru tijekom ciklusa usisavanja, prenose ga dalje raznim elementima (npr. klipovima, zupčanicima, vijcima, krilcima...), a zatim se prostor u koji je fluid „uhvaćen“ smanjuje tijekom ciklusa tlačenja. Fluid se dalje šalje u hidraulički sustav, a tlak u sustavu ovisi o otporima unutar hidrauličkog sustava. Ciklusi usisavanja i tlačenja se neprestano izmjenjuju i preklapaju (Kučinić, 2016.).

U hidraulici je najvažnija podjela pumpi prema konstrukciji i prema tome razlikujemo dvije osnovne skupine: volumenske pumpe (volumetričke ili hidrostatičke) i dinamičke pumpe (hidrodinamičke, najčešće strujne tj. turbo pumpe). Volumenske pumpe prenose

(transportiraju) fluid (ostvaruju povećanje tlaka i protok) putem smanjenja volumena (obujam) komora u pumpi, a koriste se za relativno male protoke, uz relativno velike visine dobave. Turbo pumpe u rotoru predaju snagu fluidu tako da pokretne lopatice ostvaruju silu pritiska na fluid. Primjenjuju se za relativno velike protoke i male visine dobave, pa se zato u hidraulici u principu ne koriste (Korbar, 2007.).

Volumenske pumpe dijelimo na: zupčaste (s vanjskim ozubljenjem (Slika 3), s unutarnjim ozubljenjem, sa zupčastim prstenom), vijčane, krilne, klipne (klipno aksijalna, klipno radijalna, sa koljeničastim mehanizmom, sa kulisnim mehanizmom) i membranske. Membranske pumpe, te klipne pumpe s koljeničastim mehanizmom i kulisnim mehanizmom rijetko se koriste u hidraulici (Korbar, 2007).



Slika 3. Zupčasta pumpa sa vanjskim ozubljenjem

(Izvor: <https://www.mpd-pumpe.hr/media/slikice/PZGpumparastavljenaII.jpg>)

### 2.3.2 Hidraulički fluid

Radna tekućina, hidraulično ulje ili hidraulički fluid je osnovni element hidrauličnog sustava, a namjena mu je prijenos energije od hidrauličke pumpe do hidrauličkog motora ili cilindra, hlađenje, podmazivanje, zaštitu od korozije i odnošenje nečistoća. Dakle, zahtjevi su višestruki, a ponekad su i u suprotnosti jedan s drugim.

Stoga su svojstva fluida od vrlo velike važnosti za ispravno funkcioniranje bilo kojeg hidrauličkog sustava. Može se reći da su tri osnovna svojstva fluida slijedeća:

- gustoća
- stlačivost
- viskoznost.

Važno je napomenuti da svojstva fluida u većoj ili manjoj mjeri ovise o tlaku i temperaturi. Stoga se svojstva fluida mogu značajnije mijenjati tijekom rada, što dovodi do različitih

svojstava samog hidrauličkog sustava. Od posebnog značaja je korištenje fluida koji nema štetnog utjecaja na materijal brtvi (Petrić, 2012.).

Nečistoća hidrauličnog ulja je jedan od osnovnih uzoraka otkazivanja hidrauličnog sustava. Ulje može biti uprljano mehaničkim česticama, produktima habanja, česticama vode itd. Uređaji za kontinuirano pročišćavanje (filtri) tokom rada obavezno se ugrađuju u sustav (Epet, 2020.).

U hidraulici najčešće koristimo fluide razvrstane u četiri osnovne skupine:

*1. voda i vodene emulzije* - zbog dobre ekološke prihvatljivosti, nezapaljivosti, te svoje cijene, voda može biti dobar hidraulički fluid. U usporedbi s mineralnim uljem ima još nekoliko bitnih prednosti: viskozitet je 30 % niži, a viskozitet praktički ne ovisi o temperaturi, zatim specifična toplina i toplinska vodljivost su veće, te ima bolje otpuštanje zraka i znatno veći modul elastičnosti. To znači da će gubici trenjem i tečenjem fluida biti manji, da ima bolja svojstva hlađenja, te da zbog krutosti ima bolja dinamička svojstva. Međutim ima i nekoliko dosta značajnih nedostataka. Raspon radne temperature je mali (točka tečenja, točka vrenja), potiče stvaranje mikroorganizama, loša je podmazivost, potiče koroziju, visok je tlak isparavanja, i ima veliku gustoću (Petrić, 2012.).

*2. mineralna ulja* - Mineralna ulja su zbog svoje dostupnosti i prihvatljive cijene te ravnoteže dobrih svojstava daleko najzastupljeniji fluid u hidraulici.

Ipak, rastući zahtjevi korisnika hidrauličke opreme, te sve stroža zakonska regulativa, pomalo smanjuju dominaciju mineralnog ulja pretežno u korist ekoloških fluida, te vode. Zbog sve veće svijesti o zaštiti okoliša sve se više koriste fluidi koji nisu štetni za okoliš. To su biorazgradiva ulja koja se najčešće izrađuju od biljnih ulja te voda. Radi poboljšanja svojstava dodaju se različiti aditivi (protiv oksidacije, pjenjenja, korozije, za poboljšanje indeksa viskoznosti te podmazivosti) (Petrić, 2012.).

*3. sintetički fluidi* - Sintetičke tekućine se koriste kao protupožarna alternativa mineralnim uljima. Nazivaju se po baznim uljima. Primjeri takvih ulja su fosfatni esteri i silikatni esteri. Ova ulja imaju puno bolja svojstva od mineralnih, ali su skuplja. Sintetičko ulje se dobiva u kemijskim laboratorijima gdje inženjeri slažu molekule kako bi dobili željena svojstva (Hlupić, 2011.).

### 2.3.3 Hidraulički ventili

Zadatak ventila je prijenos energije u hidrauličnom sustavu od hidraulične pumpe kroz cjevovode do hidrauličnog motora ili cilindra. To su uređaji za upravljanje ili regulaciju pokretanja, zaustavljanja, usmjeravanja i protoka fluida pod tlakom dobavljenog pumpom. Tlačnim ventilima ograničuje se tlak, protočnim ventilima regulira se protok, a razvodnim ventilima razvodi fluid (Epet, 2020.).

Hidraulički ventili dijele se na:

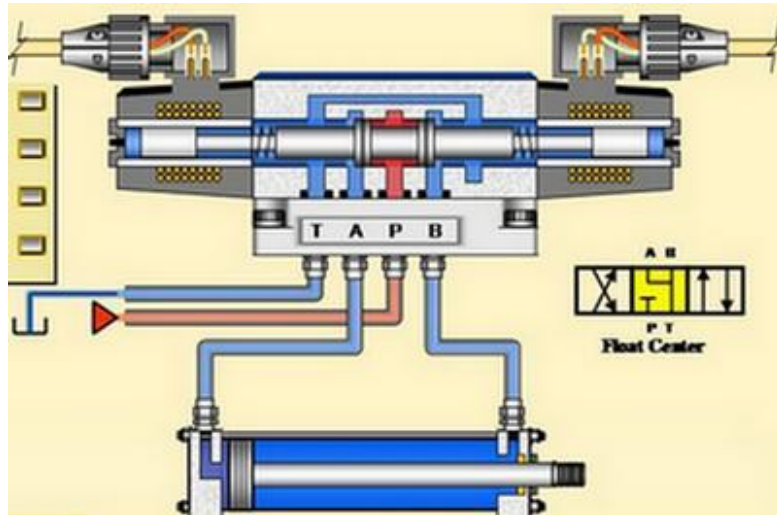
#### 1. Razvodnici

Razvodnici su ventili koji otvaraju, zatvaraju i usmjeravaju fluid. Osnovne karakteristike hidrauličkih razvodnika su:

- konstrukcija
- nazivna veličina
- broj radnih položaja
- broj hidrauličkih priključaka
- način aktiviranja.

Korbar (2007.) navodi da kvalitetu razvodnika karakteriziraju unutrašnji otpor (pad tlaka) i propuštanje (koji trebaju biti što manji), te brzina rada (frekvencija uključivanja i isključivanja – treba biti što veća). Prema konstrukciji razvodnici se dijele na klipne, pločaste i razvodnike sa sjedištem. Najčešće se koriste klipni razvodnici (Slika 4).

Radni element klipnog razvodnika je klip najčešće cilindričnog oblika, po kome je razvodnik i dobio ime. Klipni razvodnici mogu biti sa aksijalnim (translatorskim) i sa obrtnim kretanjem klipa. Kod aksijalnih klipnih razvodnika klip sa prstenastim žljebovima je razvodni element koji svojim kretanjem u cilindru otvara i zatvara priključke za dovod i odvod radne tekućine (Izvor: Link 3).



Slika 4. Klipni razvodnik

(Izvor: <https://hidropneumatskekomponente.wordpress.com/2011/12/07/klipni-razvodnici/>)

Način aktiviranja (neposredni) može biti ručni, opružni, hidraulički, pneumatski i elektromagnetski. Razvodnici s elektromagnetskim aktiviranjem imaju i dodatno ručno aktiviranje zbog sigurnosti i održavanja.

## 2. Tlačni ventili

Osnovna funkcija tlačnih ventila je ograničavanje ili podešavanje tlaka u hidrauličnom sustavu ili nekom njegovom dijelu, odnosno, oni su izvršni elementi za regulaciju i upravljanje tlakom.

Osnovna podjela je na:

- ventili za ograničavanje tlaka
- redosljedni ventili
- redukcijски ventili (Korbar, 2007.).

## 3. Nepovratni ventili

Dozvoljavaju protok samo u jednom smjeru – poput diode u elektronici. Pladanj ventila može imati oblik kugle, konusa, tanjura ili čahure. Ventil može biti neopterećen ili opterećen (s oprugom) (Korbar, 2007.).

## 4. Protočni ventili

Protočni ventili su ventili koji prigušivanjem utječu na protok u sustavu, a dijele se na:

- protočne upravljačke ventile i

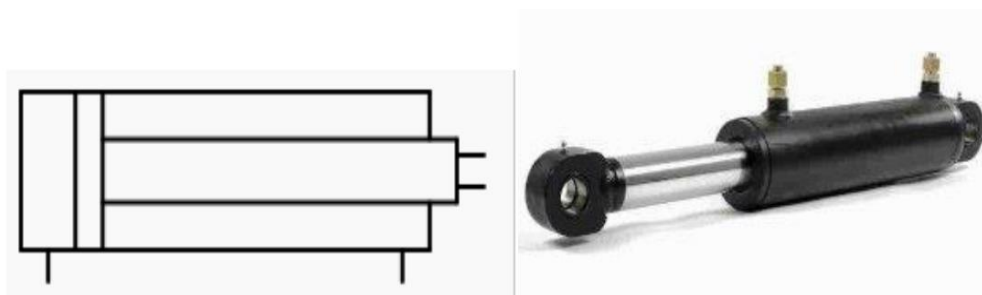
– regulatore protoka.

Protočni upravljački ventili imaju zadatak da protok u sustavu prilagođavaju potrebama. Kao prigušni elementi koriste se prigušnice i dijafragme (blende). Općenito prigušnice imaju oblik uskih kanala, a dijafragme imaju oblik ploče sa uskim otvorom za protjecanje. Za razliku od prigušnica, hidraulički otpor dijafragmi u radnom području gotovo ne zavisi od viskoznosti fluida (a time niti od temperature). Zbog toga se dijafragme koriste npr. za mjerenje protoka. Regulatori protoka imaju zadatak da održavaju konstantni zadani protok u sustavu, nezavisno od opterećenja.

#### 2.3.4 Hidraulički motor

Kako je na početku diplomskog rada spomenuto, hidrauličke motore ubrajamo u izvršne organe u hidrauličkom sustavu čiji je zadatak energiju fluida preko radnih elemenata pretvoriti u mehaničku energiju.

Kada se govori o hidrauličkom motoru uglavnom se misli na rotacijski ili zakretni hidraulički motor. Uglavnom ih dijelimo na sporohodne i brzohodne motore. Sporohodni motori se vrte na području brzina do 250 o/min, a brzohodni iznad toga. Najvažnija podjela rotacijskih motora je prema njihovoj konstrukciji odnosno načinu na koji prenose radni fluid pa se tako razlikuju zupčasti, klipni i krilni motori. Treća grupa hidrauličkih motora su linearni hidraulički motori ili hidraulički cilindri (Slika 5.) o čemu je u nastavku rada detaljno objašnjeno (Jelušić, 2015.).



Slika 5. Simbol (lijevo) i stvarni izgled hidrauličkog cilindra (desno)

(Izvor: Jelušić, 2015.)

### 2.3.5 Hidraulički cilindar

Hidraulični cilindri (Slika 6.) pretvaraju hidrauličnu energiju u mehanički rad i možemo reći da su oni zapravo linearni hidraulički motori. Tlak ulaznog ulja pretvara se u silu koja djeluje na klip. Brzina hoda regulira se promjenom intenziteta dotoka fluida, a veličina sile promjenom visine tlaka (Epet, 2020.).



Slika 6. Hidraulički cilindar

(Izvor: <https://www.matejhidraulik.hr/elementor-165/>)

Drugim riječima, može se reći da je hidraulični cilindar uređaj koji pretvara energiju fluida u linearnu mehaničku silu i gibanje (Khan, 2009.). Pretvaraju energiju tlačnog fluida (tekućine) u mehaničku energiju uz visok stupanj iskoristivosti ( $\eta = 0.9 \div 0.96$ ). Kod servo cilindara ima i višu vrijednost  $\eta = 0.99$  (Begović, 2020.).

Hidraulički fluid uglavnom je mineralno ulje. U hidraulici se upotrebljavaju i sintetička ulja i emulzije, a sve više i voda (vodena hidraulika).

Hodovi koji postižu mogu biti od nekoliko milimetara do više metara (i do 20-tak metara, pa i više). Sile također mogu biti velike (do nekoliko stotina tisuća kN – što je ekvivalent masi od nekoliko desetaka tisuća tona) (Petrić, 2012.).

Hidraulički cilindri jednostavni su elementi. Sastoje se od: košuljice (cijevi, plašt), klipa, klipnjače, brtvi, te dvaju poklopaca koji mogu biti pričvršćeni zavarivanjem ili navojem za košuljicu (robusnija konstrukcija), ili međusobno šipkama (manje čvrsta konstrukcija) (Slika 7). Postoji više načina pričvršćenja cilindara za podlogu, te klipnjače za predmet koji se pomiče. Neke vrste pričvršćenja su normirane (Petrić, 2012.).

U praksi se susrećemo sa različitim izvedbama hidrauličkih cilindara. Osnovna podjela obuhvaća:

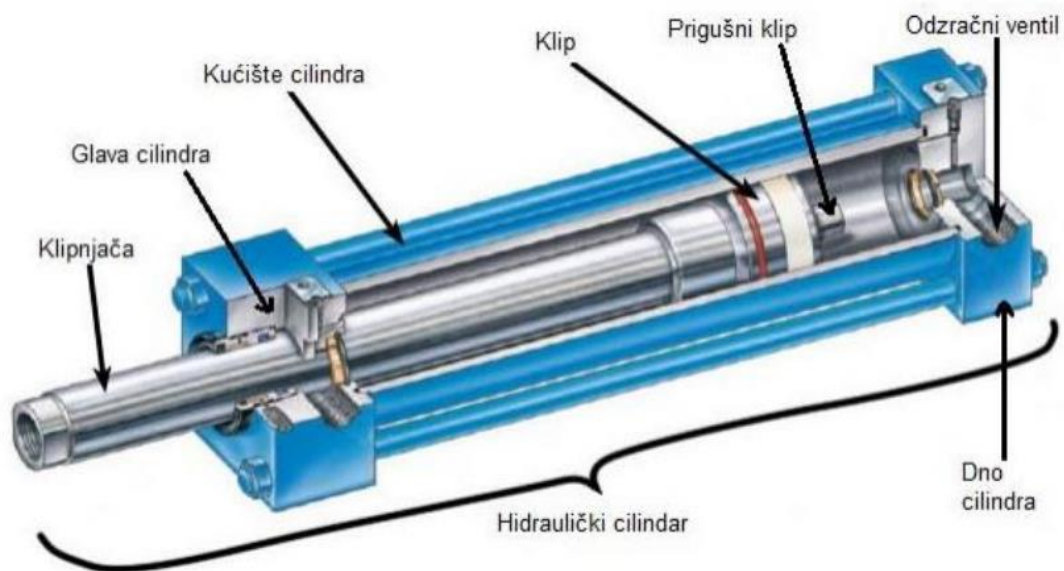
1. Prema načinu proizvodnje:

- standardne (obuhvaćeni normama, npr. ISO 3322, DIN ISO 33220)
- serijske (serijski se proizvode, ali nisu normirani)
- specijalne (cilindri s neobičnim prihvatom te jako velikim, odnosno, jako malim radnim hodovima).

2. Prema djelovanju sile, odnosno korisnog rada koji obavljaju

- jednoradni
- dvoradni (Petrić, 2012.).

Na slici 7, prikazani su dijelovi hidrauličkog cilindra.



Slika 7. Dijelovi hidrauličkog cilindra

(Izvor: Begović, 2020.)



## 2.4 Usporedba energetske sustava

U tablici 1. prikazana je kratka usporedba različitih energetske sustava s obzirom na svojstva sustava.

Tablica 1. Usporedba različitih energetske sustava

Svojstva Sustava	Mehanički	Električni	Pneumatski	Hidraulički
<b>Ulazni izvor energije</b>	SUI i elektromotor	SUI i hidraulične, zračne ili parne turbine	SUI, elektromotor i tlačni spremnik	SUI, elektromotor i zračna turbina
<b>Element prijenosa energije</b>	Mehanički dijelovi, poluge, osovine, zupčanici	Električni kabeli i magnetsko polje	Cijevi i crijeva	Cijevi i crijeva
<b>Prijenos energije</b>	Kruti i elastični predmeti	Protok elektrona	Zrak	Hidraulične tekućine
<b>Omjer snage i težine</b>	Loše	Prihvatljivo	Odlično	Odlično
<b>Krutost</b>	Dobro	Loše	Prihvatljivo	Odlično
<b>Brzina odgovora</b>	Prihvatljivo	Odlično	Prihvatljivo	Dobro
<b>Osjetljivost na prljavštinu</b>	Odlično	Odlično	Prihvatljivo	Prihvatljivo
<b>Relativni trošak</b>	Odlično	Odlično	Dobro	Prihvatljivo
<b>Kontrola</b>	Prihvatljivo	Odlično	Dobro	Dobro
<b>Vrsta pokreta</b>	Uglavnom rotirajući	Uglavnom rotirajući	Linearni ili rotacijski	Linearni ili rotacijski

(Izvor: <https://people.utm.my/shamsul/wp-content/blogs.dir/949/files/2015/12/Fluid-Power.pdf>)

## 2.5 Primjena hidrauličkih sustava

Hidraulika se koristi u vrlo širokom području koje obuhvaća: alatne strojeve, poljoprivredne strojeve, šumarske strojeve, cestovna i šinska vozila, brodogradnju, avio-industriju, energetiku, rudarstvo, vojnu industriju, svemirsku tehniku itd. (Korbar, 2007.).

U prehrambenoj industriji, po pitanju hidraulike, kao fluid koristimo tzv. „jestivo ulje“ koje kod slučajnog istjecanja ili kvara sustava ne može naškoditi proizvodu (hrani). Ovakve sustave imamo npr. u proizvodnji vina (preše), uljarskoj proizvodnji, itd. Kod takve proizvodnje cilindri preše budu zaštićeni s posudom od nehrđajućeg čelika gdje ulje u slučaju nekakvog kvara slobodno istječe.

### 2.5.1 Hidraulika u poljoprivredi

Hidraulične komponente i sustavi koriste se u komercijalnim poljoprivrednim sustavima diljem svijeta. Oni su vitalni za proizvodnju usjeva i stočarstvo. Hidraulički sustavi čine poljoprivrednu proizvodnju bržom i učinkovitijom, uz smanjenje troškova rada.

Neki od tipičnih poljoprivrednih strojeva koji iskorištavaju hidrauličku snagu su:

*1. Traktori* – koriste se za različite operacije kao što su oranje, sjetva, kultivacija, gnojidba, žetva itd. Traktori obično predstavljaju složen hidraulički sustav koji uključuje hidrauličku pumpu, hidraulične cilindre i klipove, hidraulički spremnik i osjetljive regulacijske ventile. Nošena oruđa priključuju se u tri zglobne točke, na trozglobnu poteznicu (Slika 8.). Oruđa su nošena traktorom kako u radnom tako i u transportnom položaju.

Podižu se u transportni i spuštaju u radni položaj hidraulikom i nemaju voznih uređaja (kotača) (Izvor: Link 4).



Slika 8. Prikaz standardiziranog priključka traktora- trozglobna poteznica

(Izvor: [http://www.deere.com/wps/dcom/en\\_US/regional\\_home.page](http://www.deere.com/wps/dcom/en_US/regional_home.page))

*2. Prskalice* - Koriste se za ravnomjernu aplikaciju pesticida, gnojiva i drugih poljoprivrednih sredstava za zaštitu bilja. Iako se mogu vući i montirati na prikolice i traktore, neke prskalice su dizajnirane da se kreću na vlastiti pogon.

Mnoge od samohodnih prskalica (Slika 9.) koriste hidrostatski prijenos za postizanje neovisnog kretanja (Izvor: Link 4).



Slika 9. Mazotti samohodna prskalica IBIS 3145 LP

(Izvor: <https://www.agropmd.hr/Mazzotti-samohodna-prskalica-IBIS-3145>)

3. *Univerzalni žitni kombajn i silo kombajn* – Hidraulika se kod silo-kombajna dijeli na dvije zasebne hidraulike. Svaku hidrauliku zasebno pokreću hidropumpe koje se nalaze na motoru. Prva hidraulika je radna i koristi se za obavljanje različitih funkcija pri siliranju. Radna hidraulika omogućava podizanje i spuštanje hедера (slika 10.). Ona služi i za usmjeravanje mase kroz istovarnu cijev za izbacivanje u prijevozno sredstvo (prikolicu). Radnu hidrauliku pokreće zasebna crpka. Druga hidraulika je transportna i ima puno manje radnih operacija nego li radna. Služi za pokretanje silažnog kombajna naprijed i nazad i to je njezin primarni zadatak (Kolak, 2016.).

Hidraulični prijenos snage kod žitnog kombajna sastoji se od hidropumpe, hidromotora, cilindara, upravljačkih ventila, spremnika ulja, hladnjaka ulja i uljnih vodova. Njegova uloga je da hidrauličnim putem osigura pogon svih radnih elemenata, a kod suvremenih kombajna i vožnju (Polak, 2020.).



Slika 10. Heder (čeonik) silo kombajna u radnom položaju

(Izvor: <https://domacinskakuca.rs/2020/02/05/mehanizacija/odrzavanje-silaznog-kombajna/>)

4. *Utovarivači* - To su građevinski strojevi koji služe pretežito za utovarivanje rastresitog materijala (Slika 11.)

Sastoje se od traktora na gusjenicama ili na kotačima s gumama i utovarne lopate s hidrauličkim upravljanjem (Izvor: Link 4).



Slika 11. Cat 930M utovarivač

(Izvor: <https://i.ytimg.com/vi/R1R1Vkn9-V8/maxresdefault.jpg>)

## 2.6 Dijelovi hidrauličkog cilindra

### Dijelovi hidrauličkog cilindra

Svaki hidraulični cilindar sastoji se od:

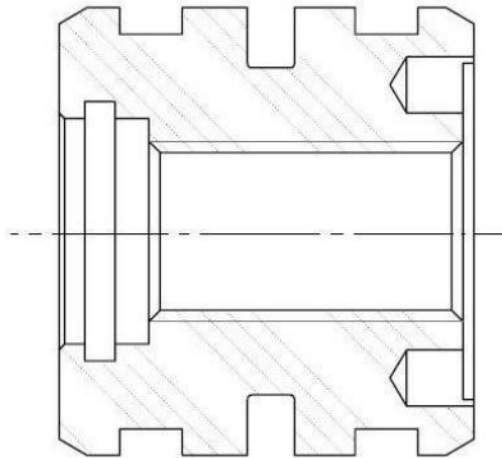
- Klipa
- Klipnjače
- Glave cilindra
- Cijevi cilindra ili kućišta (ovisno o konstrukciji)
- Prigušnog klipa (kao produžetak glave klipa)
- Priključaka i pomoćnih komponenti (vijci, matice, osigurači i sl.)

Ti dijelovi se međusobno mogu spojiti na više načina. Spajanje cijevi cilindra s glavom i dnom može se izvesti navojem, navojnim šipkama ili vijcima, te zavarivanjem (Petrić, 2012.). U nastavku će detaljnije biti opisane pojedinačni sastavni dijelovi hidrauličkog cilindra.

#### 2.6.1 Klip

Klip je dio cilindra čiji je zadatak vršiti ekspanziju i kompresiju radnog fluida unutar cijevi. Nalazi se u direktnom spoju sa klipnjačom te uslijed djelovanja tlaka na njegovu površinu preko klipnjače ostvaruje silu u smjeru djelovanja tlaka. Na glavi klipa se nalaze klizeći prstenovi i klipna brtva (Slika 12) kako bi iskoristivost djelovanja klipa bila što veća. Kod većih hodova klipa potrebno je i kvalitetno vođenje kako bi broj radnih ciklusa bio što veći (Kocelj, 2016.).

Klipovi se mogu izrađivati od: čelika za automate, konstrukcijskih čelika, čelika za cementiranje, čelika za poboljšavanje, nehrđajućih čelika, nodularnog lijeva, kositrene bronce, aluminijske bronce, te drugih materijala za specijalne namjene (Kocelj, 2016.).



Slika 12. Klip

(Izvor: Kocelj, 2016.)

### Klipna brtva

Zadatak brtvi je sprječavanje da između dva funkcionalno razdvojena prostora dođe do toka medija iz jednog prostora u drugi. Brtve moraju ograničiti gubitke zbog propusnosti u takvoj mjeri da budu u potpunosti zadovoljeni zahtjevi u pogledu sigurnosti, a da pri tome omogućuju ekonomski povoljna konstruktivna rješenja (Izvor: Link 5).

Hidraulične brtve sadrže strugače i vodilice koji u pneumatskoj tehnologiji imaju iste zadatke kao i hidraulični cilindri. Klipni i posebno brtveni prstenovi imaju poseban zadatak. Osim brtvljenja zraka, oni moraju osigurati početno uspostavljeni film za podmazivanje što je duže moguće. Zbog toga su brtvene površine konstruirane s ravnom, simetričnom raspodjelom tlaka, tako da brtva klizi preko filma za podmazivanje, ali ga ne struže. Pri tome, trenje mora biti nisko (Izvor: Link 6).

Okrugli prstenovi (OR) su najpoznatija i najviše korištena vrsta brtvi (Slika 13.a i 13.b). Prikladni su za ugradnju u statične (statično brtvljenje) i pokretne dijelove strojeva i naprava (dinamično brtvljenje). Posebni su po jednostavnosti ugradnje i širokom izboru materijala za različite uvjete korištenja.

S razvojem automatizacije se upotreba okruglih prstenova proširila na područja:

- strojarstva
- pneumatike
- hidraulike

- instalacija

Korištenjem dodatnih potpornih prstenova, njihova se uporaba također proširila na područje brtvljenja najvišeg pritiska nekog medija. Potporni prstenovi su najčešće napravljeni od PTFE (Teflon), koji ima nizak koeficijent trenja i dobru kemijsku i temperaturnu stabilnost. Potporni prstenovi sprječavaju da brtva bude izgurana iz kanala u prostor (prorez) između brtvljenih površina, čime se produžuje životni vijek brtve. Uporaba potpornih prstenova je opravdana:

- kod viših pritisaka
- kod većih proreza između brtvljenih površina
- pri većim međusobnim brzinama brtvljenih površina
- pri većim radnim temperaturama, npr. promjenama temperature
- u nečistim sistemima (Izvor: Link 7).

#### Uporaba prema vrsti brtvljenja:

- Statično brtvljenje
  - a. Okrugli prstenovi se koriste kao prirubnice, pokrovi i spojke u ugradbenim brtvama, itd.
- Dinamično brtvljenje
  - a. brtvljenje elemenata s translatorskim gibanjem (unilateralno/bilateralno brtvljenje) u komponentama koje pripadaju hidrauličnim i pneumatskim sistemima (cilindri, klipnjače, distribucijska klizišta,...).
  - b. brtvljenje elemenata s rotacijskim gibanjem (osovine, ležajevi, zupčanci, ...)  
(Izvor: Link 7).

Prednosti uporabe okruglih prstenova u odnosu na druge brtve su:

- jednostavna ugradnja
- široka uporaba (statični, dinamični, unilateralni, bilateralni rad)
- širok izbor dimenzija i materijala
- simetrični presjek koji sprječava krivu ugradnju
- jednostavni oblici utora (ušteda prostora i cijene proizvodnje tijekom izrade)
- niske cijene

Za pravilan izbor okruglih prstenova potrebno je znati:

- pritisak ( izbor tvrdoće)



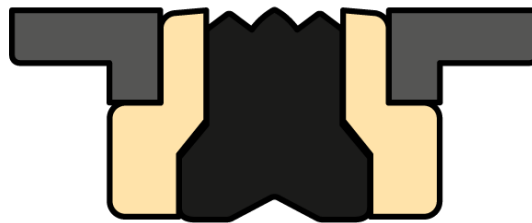
- uvjeti uporabe, temperatura, medij (izbor materijala)
- dimenzije utora, tj. klipa i cilindra (ugradbene mjere)
- vrsta brtvljenja (statično / dinamično - translatorno, rotacijsko) (Izvor: Link 7).

### Materijali:

Odabrani materijal je odlučujući za sposobnost brtvljenja, pouzdanost u radu i životni vijek brtve. Pravi materijal – materijal prilagođen uvjetima rada i oblik brtve su odlučujući za besprijekoran rad brtve. Temperatura, pritisak i vrsta medija su od ključne važnosti za pravilan izbor materijala (Izvor: Link 7).



Slika 13.a



Slika 13.b

Okrugli (OR) klipni prstenovi – klipna brtva DBS 70x50x22,40

(Izvor: <https://pkl.hr/proizvod/h-50x70x22-4-klipna-brtva-skf-md/>)

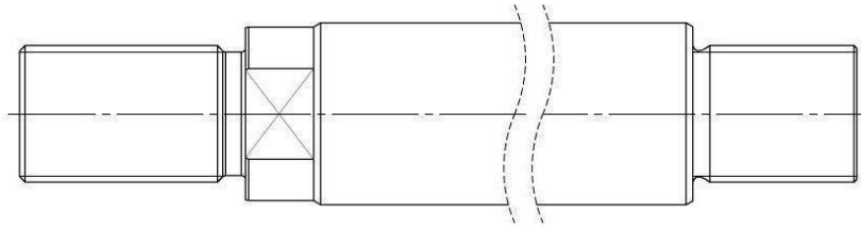
Klipna brtva prikazana na slikama 13.a i 13.b sastoji se od brtvenog prstena izrađenog od materijala NBR (nitrilni kaučuk). Klizeći prstenovi su izrađeni od materijala TPE 63 (termoplastični elastomer) te POM 24 (polioksimetilen).

### 2.6.2 Klipnjača

Klipnjača, prikazana na slici 14 je element cilindra koji prenosi silu s klipa na izvršni dio konstrukcije koja mora obaviti neki rad. Na jedan kraj klipnjače učvršćuje se klip dok je drugi kraj poveznica s izvršnim elementom konstrukcije. Mogu biti u obliku šipke ili cijevi. Kompresija i ekspanzija vrši se pravocrtnim gibanjem klipnjače unutar cijevi cilindra. Klipnjača je obično tvrdi kromirani komad hladno valjanog čelika. Materijali od kojih se izrađuju klipnjače su: čelici za poboljšavanje (C45 u poboljšanom stanju - najčešća primjena),



nehrđajući čelici i razni drugi za specijalne namjene. Vrlo bitna je površina klipnjače koja mora posjedovati dobra tribološka svojstva zbog klizanja kroz glavu cilindra (Kocelj, 2016.).

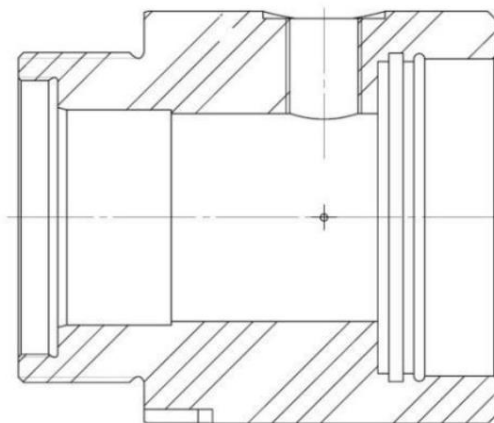


Slika 14. Shematski prikaz - klipnjača

(Izvor: Kocelj, 2016.)

### 2.6.3 Glava cilindra

Glava cilindra ima ulogu pričvršćenja cilindra na šasiju stroja. Kocelj (2016.) navodi da glava cilindra ili prednji poklopac ima funkciju vođenja klipnjače i brtvljenja brtvama smještenim u njoj. Služi još za smještanje priključka za radnu tekućinu i odzračivanje, također kod cilindara s regulacijom prigušenja za ugradnju vijaka za regulaciju, stezanje hidrauličkog cilindra za konstrukciju i još neke druge specijalne zahtjeve. Na Slici 15 prikazan je shematski prikaz glave cilindra.



Slika 15. Shematski prikaz glave cilindra

(Izvor: Kocelj, 2016.)

#### 2.6.4 Cijev cilindra

Cijev je šuplji cilindar relativno tankih stijenki čija je visina (dužina) mnogo puta veća od promjera. Izrađuju se gotovo od svih vrsta materijala, a upotrebljavaju se u vrlo širokom rasponu tlakova i temperatura. Nazivni promjer cijevi je uvijek unutarnji promjer. Debljina stijenki je određena tlakovima u cijevi. Po načinu izrade cijevi mogu biti šavne i bešavne. Na slici 16. prikazana je cijev hidrauličnog cilindra (Izvor: Link 8).

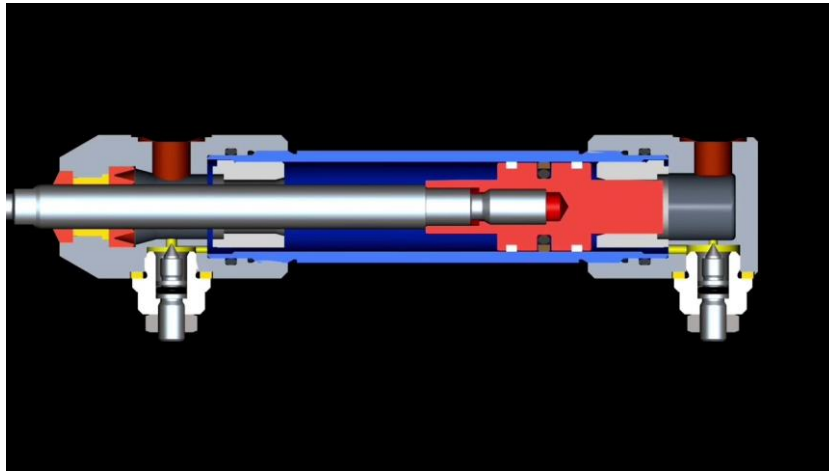


Slika 16. Cijev hidrauličnog cilindra

(Izvor: <https://www.rotban.hr/cilindri/cilindri.html>)

#### 2.6.5 Prigušni klip

Prigušni klip je dio glave klipa koji služi za prigušenje udara klipa o njegov krajnji položaj tj. prigušni klip svojim napredovanjem smanjuje izlazni protok i samim time i brzinu gibanja klipa. Prigušenje klipom ujedno nazivamo i prigušenje stvaranjem prstenastog zazora. Prigušni klip se upotrebljava na bagerima i radnim strojevima te postrojenjima gdje se cilindar jako brzo kreće odnosno uvlači i izvlači. Na slici 17, prikazan je presjek prigušnog klipa.



Slika 17. Presjek prigušnog klipa

(Izvor: <https://www.youtube.com/watch?v=ewOEdF3fug4>)

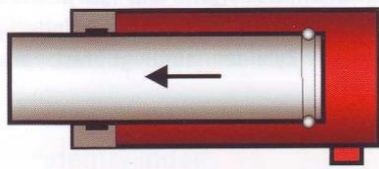
## 2.7 Princip rada hidrauličkog cilindra

Hidraulički cilindri ne razlikuju se bitno od pneumatskih cilindara. Zbog većih tlakova i sila moraju biti robusnije konstrukcije, a povećan je i problem brtvljenja. Obzirom da je radni medij ulje, pojavljuje se i problem curenja ulja prodrlog kroz brtve, pa je potrebno predvidjeti odvod tog ulja. Također, prilikom pražnjenja cilindra mora se ulje odgovarajućim vodovima vratiti u spremnik. Konačno, prije puštanja u pogon potrebno je cijelu hidrauličku instalaciju odzračiti. Zato hidraulički cilindri imaju dva otvora (po jedan na prednjoj i stražnjoj strani) za odzračivanje. Kroz te otvore odzračivanje se vrši pomoću vijka ili automatskog ventila za odzračivanje (Korbar, 2007.).

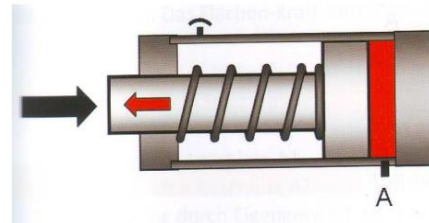
### 2.7.1. Jednoradni cilindar

Osnovna razlika između jednoradnog i dvoradnog hidrauličnog cilindra je ta što jednoradni cilindri obavljaju koristan rad samo u jednom smjeru, a dvoradni u oba smjera.

Klipovi jednoradnih cilindara svoj povratni hod ostvaruju masom tereta kojeg podižu ili vlastitom težinom. Primjer takvog jednoradnog cilindra je tzv. cilindar s uronjenom klipnjačom koji ne sadrži klip (18.a) i povratni hod ostvaruje vlastitom težinom ili masom tereta koji podiže te djelovanjem vanjske sile (opruge) što je prikazano na slici 18.b (Petrić, 2012.).



a) jednoradni cilindar s  
uronjenom klipnjačom (tzv. „plunđer)



b) jednoradni cilindar s povratnim hodom  
pomoću opruge

Slika 18. Različite izvedbe jednoradnog hidrauličnog cilindra

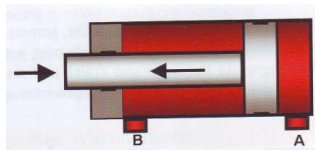
(Izvor: Petrić, 2012.)

Kod jednoradnih cilindara, ulje pod tlakom dovodi se samo s jedne strane klipa. Najčešći primjer gdje koristimo jednoradni hidraulički cilindar je heder na kombajnu.

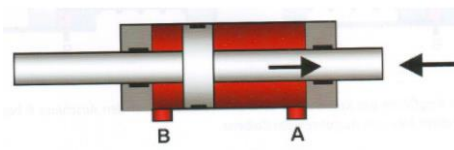
### 2.7.2 Dvoradni cilindar

Dvoradni hidraulički cilindri (Slika 20) vrše koristan rad u oba smjera. Pri kretanju klipa, fluid iz jalovog prostora biva istisnut u cjevovod povrata. Mogu biti diferencijalni ili s prolaznom klipnjačom. Diferencijalni cilindar ima točno određeni omjer površine klipa i klipnjače ( $\alpha = A_{\text{klipa}}/A_{\text{klipnjače}}$ ) koji pogoduje pravilnom funkcioniranju hidrauličkih krugova. Taj omjer je najčešće 2 (dakle dvostruko je veća površina klipa s jedne strane). Stoga je sila cilindra dvostruko veća s jedne strane djelovanja (uz isti tlak), ali je brzina gibanja dvostruko veća s druge strane gibanja (uz isti protok). Cilindar s prolaznom klipnjačom ima iste površine s jedne i s druge strane, pa su i njegove karakteristike simetrične tijekom gibanja na obje strane, što ga čini pogodnim u različitim servo primjenama. Na taj način je zbog simetričnosti olakšano podešavanje regulatora (Petrić, 2012.).

Primjeri prethodno spomenutih dvoradnih cilindara prikazani su na slikama 19.a i 19.b.



Slika 19.a Dvoradni diferencijalni  
cilindar



Slika 19 .b Dvoradni cilindar s prolaznom  
klipnjačom

Slika 19. Različite izvedbe dvoradnih hidrauličnih cilindara

(Izvor: Petrić, 2012.)

Na slici 20, prikazan je stvarni primjer dvoradnih hidrauličkih cilindara.



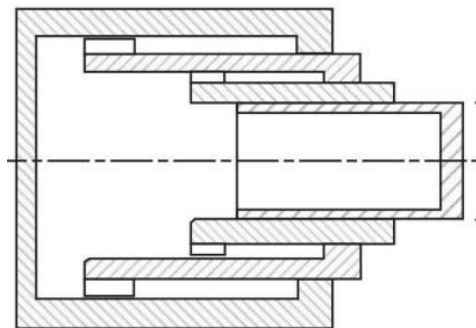
Slika 20. Dvoradni hidraulički cilindar

(Izvor: <https://shop.haberkorn.hr/>)

### 2.7.3 Teleskopski cilindar

Postoji čitav niz različitih specifičnih vrsta cilindara. Kao karakterističan može se spomenuti teleskopski cilindar koji je prikazan na slici 21. Ovaj cilindar ima jako veliki hod u odnosu na svoju početnu dužinu. Sastavljeni su od više cilindara složenih jedan u drugoga. To ga čini vrlo upotrebljivim u različitim dizalima, transportnim elementima i slično. Teleskopski cilindar može biti jednoradni i dvoradni, a posebnu pažnju treba obratiti na dimenzioniranje koje se tiče izvijanja. Ovi cilindri nazivaju se još i kiper cilindri jer se najviše koristi upravo u tu svrhu, u tzv. kiper kamionima za prijevoz rasutog tereta (pijesak), na traktorskim prikolicama za prijevoz žitarica itd. Na slici 22 prikazan je primjer teleskopskog cilindra (Petrić, 2012.).

Mogu imati čak šest stupnjeva. Svaka faza opremljena je brtvama i ležajnim površinama koje djeluju i kao cilindarska cijev i klipnjača (Kuridža, 2020.).



Slika 21. Teleskopski cilindar

(Izvor: <https://sealfluid.it/fluid-power-sealing-academy/hydraulic-cylinders-design/>)



Slika 22. Teleskopski cilindar za prikolicu „Zmaj – 8t“

(Izvor: <https://www.matejihidraulik.hr/elementor-165/>)

## 2.8 Trošenje hidrauličkog cilindra

Jedan od najčešćih primjera trošenja dijelova hidrauličkog cilindra je djelovanje tribokorozije na cilindar, što je prikazano na slici 23. Tribokorozija ili tribokemijsko trošenje je mehanizam trošenja pri kojem prevladavaju kemijske ili elektrokemijske reakcije metala s okolišem (Grilec i sur. 2017.) Iako se tribokorozija ubraja u osnovne mehanizme trošenja, ona je ipak kombinacija između kemijskih reakcija na površinu triboelemenata i nekeog od osnovnih mehanizama trošenja (abrazije, adhezije ili umora površine) (Ivušić 1998.).



Slika 23. Hidraulički cilindar zahvaćen korozijom

(Izvor: <https://riverlakeco.com/how-to-clean-rust-off-the-hydraulic-cylinder/>)

Tirić (2017.) navodi da je zaštita od korozije područje inženjerstva koja se trudi održati materijale u najstabilnijem (ne korodiranom) obliku.

S inženjerske perspektive korozija se smatra kao destruktivni napad prirode na metal. Uništavanje metala se odnosi na prirodne procese, kao što su kemijska i elektrokemijska korozija. Kod značajnog gubitka materijala uslijed korozije, nastaju gubici u produktivnosti i povećavaju se troškovi održavanja, popravka, zamjene i obnove oštećenog dijela.

Morsko okruženje je jedno od najagresivnijih sredina u kojima se nalaze i eksploatiraju raznovrsne konstrukcije i postrojenja, a posebno u području zapljuskivanja mora, gdje su korozijski procesi najintenzivniji.

Jedna od čestih pojava gdje nastanu jako veliki kvarovi i „zaribavanje“ unutar cilindra je slučaj kada se na glavi klipa skroz potroši klipna brtva i klizeći prstenovi (Slika 24.) kao i upotreba šavne hidraulične cijevi na priključnim poljoprivrednim strojevima koji nisu svakodnevno u funkciji o čemu se govori u eksperimentalnom dijelu rada.



Slika 24. Potrošena klipna brtva i klizeći prstenovi  
(Izvor: <https://blog.berendsen.com.au/hydraulic-cylinder-failure-risks>)



### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1 Matej Hidraulik d.o.o.

Kao što je već spomenuto u samom uvodu, eksperimentalni dio je odrađen u tvrtci specijaliziranoj za izradu i popravak hidrauličnih cilindara pod nazivom „Matej hidraulik“ čije je sjedište u Vrpolju. Navedena tvrtka pruža kompletnu podršku vezano za hidrauličke sustave što uključuje: popravak hidrauličnih cilindara, izrada novih hidrauličnih cilindara, honanje cijevi, glodanje, tokarenje te izradu visokotlačnih crijeva. Tvrtka raspolaže s nekoliko tokarskih strojeva (ZMM 1100 CU – vidljiv na slici 25. , ZMM 660 CU, ZMM 600 CU, BULMAK 500 CU), strojem za honanje SUNNEN, presom za izradu hidrauličnih crijeva TECHMAFLEX PE 38 (Slika 26), presom za izradu hidrauličnih crijeva TECHMAFLEX PE 28, itd.



Slika 25. Tokarski stroj „ZMM 1100 CU“

(Izvor: vlastita fotografija)





Slika 26. Preša TECHMAFLEX PE 28 za izradu hidrauličkih crijeva

(Izvor: <https://www.bijuk-hpc.hr/services>)

### 3.2 Pravilan rad hidrauličkog cilindra

Svaki od sastavnih dijelova hidrauličkog sustava ima svoju funkciju i nepravilnim radom ili oštećenjem bilo kojeg od njih dolazi do nepravilnog rada cjelokupnog hidrauličkog sustava, a moguć je i nastanak puno većeg kvara s obzirom da su dijelovi sustava međusobno povezani tijekom prijenosa, pretvorbe i upravljanja energijom (hidraulički krug). Hidraulički cilindar (ili motor) daje okretni moment ili silu koja pogoni neki teret i zbog toga predstavlja izvršni dio hidrauličkog sustava. Za mnoge je upravo hidraulički cilindar (Slika 27.) srce hidrauličkog sustava (iako bez pravilnog funkcioniranja ostalih elemenata nema ni ispravnog funkcioniranja hidrauličkog cilindra), također i održavanje samog cilindra mora biti redovito i ispravno.



Slika 27. Hidraulički cilindar 180x90 – radni hod 900 mm

(Izvor: vlastita fotografija)

Cilindar prikazan na slici 27, koristi se kao dozator bio mase u kogeneracijskom postrojenju. Kogeneracija je tehnologija istovremene potrošnje električne energije i korisne toplinske energije, odnosno kogeneracija predstavlja jedan od ključnih načina racionalnog korištenja energije. Hidraulični valjci se kreću tako da se svaka druga poluga kreće u isti smjer, jedna poluga obavlja povratno kretanje, a susjedna radno (Slika 28.).



Slika 28. Upotreba hidrauličkih cilindara u procesu kogeneracije

(Izvor: vlastita fotografija)

### 3.3 Vrste hidrauličkog održavanja

Postoje tri glavne vrste hidrauličkog održavanja: reaktivno održavanje (RM), preventivno održavanje (PM) i prediktivno održavanje (PdM) .

1. Reaktivno održavanje označava održavanje u kvaru i uključuje popravke koji se poduzimaju kako bi se popravila oprema koja je već pokvarena.
2. Preventivno održavanje je redovito održavanje koje se provodi na opremi kako bi se spriječilo njeno kvarenje. Preventivno održavanje se provodi kroz Program preventivnog održavanja.
3. Prediktivno održavanje ili održavanje temeljeno na uvjetima koristi senzorske uređaje za prikupljanje informacija o sustavu i komponentama i potiče osoblje da izvrši održavanje u točnom trenutku kada je potrebno. Zbog visokih troškova i tehničkih zahtjeva, još uvijek je novo na tržištu i ne koristi se često (Izvor: Link 9).

## 4. REZULTATI

U ovom poglavlju govori se o najčešćim kvarovima i oštećenjima hidrauličkih cilindara nastalim prilikom eksploatacije zbog trenja i trošenja pojedinih dijelova koji su rezultat neredovitog održavanja i izloženosti djelovanju vanjskih nepovoljnih utjecaja.

### 4.1 Klipnjača hidrauličkog cilindra

Primjer prikazan na slici 29. u eksploataciji se nalazio na bageru koji je radio u primorskom području te je bio izložen djelovanju morske vode i soli. Uslijed djelovanja navedenih čimbenika korozije i nečistoća (prašine, sitnog kamenog materijala i sl.) došlo je do trošenja dijelova cilindra mehanizmom tribokorozije (kombinacija korozije i abrazijskog trošenja). Hidraulični cilindar bagera podijeljen je na cilindar nosača, cilindar kraka i cilindar žlice.



Slika 29. Hidraulički cilindar zahvaćen korozijom

(Izvor: Vlastita fotografija)

Klipnjača prikazana na slici 30, izrađena je od čelika St52-3 te je postupkom tvrdog kromiranja nanesen sloj od 20 -30  $\mu\text{m}$ . U ovom slučaju uslijed djelovanja morske vode i soli došlo je do oštećenja kromiranog sloja na klipnjači što je pogodovalo nastanku korozije.



Slika 30. Oštećenje klipnjače  
(Izvor: Vlastita fotografija)

#### 4.2 Klipne brtve i klizeći prstenovi

Slika 31. prikazuje potrošenu klipnu brtvu i klizeće prstenove. Navedeni dijelovi glave klipa su, zbog slabog podmazivanja, izgubili svoju funkciju odnosno potrošili su se. Također, može se uočiti kako je zbog toga oštećena i glava klipa na kojoj su vidljivi značajni tragovi trošenja, odnosno, vidljive su brazde nastale uslijed klizanja metala po metalu i kotrljanja otkinutih komadića metala u prostoru između glave klipa i cilindra.



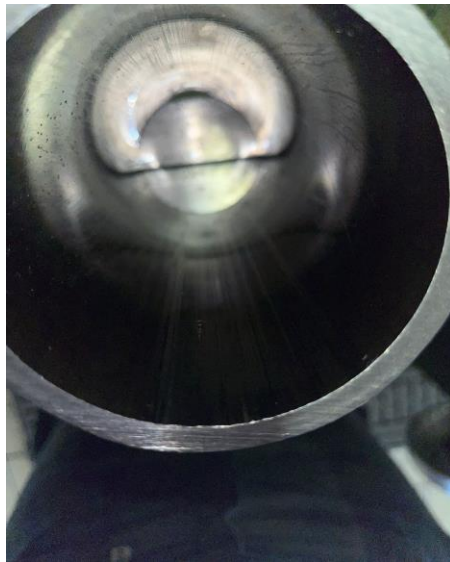
Slika 31. Glava klipa sa potrošenom klipnom brtvom i klizećim prstenovima  
(Izvor: Vlastita fotografija)



### 4.3 Šavna hidraulična cijev

Šavna hidraulička cijev (Slika 32.) često se pojavljuje na poljoprivrednim priključnim strojevima koji nisu svakodnevno u funkciji. Šavna honovana cijev znatno je jeftinija od bešavne honovane cijevi (Slika 33.).

Problem nastaje prilikom klizanja glave klipa po cijevi cilindra koja ima šav. Prilikom tog klizanja, po šavu cijevi nastaje trošenje klipne brtve i vodilica odnosno peterodijelni brtveni sklop se potroši samo na tom dijelu gdje je šav. Uočeni su tragovi trošenja na klipnoj brtvi i vodilici samo na mjestima gdje taj sklop kliže po šavu.



Slika 32. Istrošena šavna honovana cijev

(Izvor: vlastita fotografija)



Slika 33. Bešavna honovana cijev

(Izvor: vlastita fotografija)

## 5. RASPRAVA

### 5.1 Analiza procesa trošenja i korozije na klipnjači hidrauličnog cilindra

Oštećenje klipnjače dovelo je do nepravilnog rada cilindra. Problem je bio istjecanje fluida koji pokreće hidraulički cilindar. Istjecanje je nastalo jer je glava klipa cilindra klizala po oštećenoj klipnjači i tako potrošila i uništila brtve cilindra što je prikazano na slici 34. Također, kako je ranije prikazano na slici 29, na klipnjači cilindra došlo je do pojave rupičaste (pitting) korozije. Uslijed klizanja glave klipa po oštećenoj klipnjači i pod utjecajem čimbenika korozije (prašine i nečistoća) došlo je do trošenja klipnjače cilindra mehanizmom tribokorozije.



Slika 34. Potrošena klipna brtva

(Izvor: vlastita fotografija)

Na klipnjači hidrauličkog cilindra se pojavila rupičasta korozija (Slika 35.) (engl. *pitting*) koja je možda i najopasniji oblik korozije zbog toga jer ju je vrlo teško predvidjeti i spriječiti, te relativno teško otkriti, događa se vrlo brzo te prodire u metal bez da uzrokuje vidljivi gubitak mase. Očituje se malim jamicama koje s vremenom prerastaju u rupice (Tirić, 2017.).

Rupičasta korozija se pojavljuje na određenim mjestima površine metala koja su na neki način oslabljena i time pogodna za nastanak pita, tj. rupice. Grgić (2020.) navodi da fluoridi, kloridi, bromidi i jodidi čine skupinu halogenih elemenata čijim otapanjem u vodi nastaju izrazito jake kisele otopine koje, pod iznimkom fluora, izrazito pogoduju nastanku i napretku rupičaste korozije kod nehrđajućih čelika (Čabraja, 2012.).



Slika 35. Rupičasta „pitting“ korozija na klipnjači hidrauličkog cilindra

(Izvor: vlastita fotografija)

Postoje tri načina za sprječavanje nastanka „hrđe“ odnosno pojave korozije na klipnjači hidrauličkog cilindra:

- Najbolji način za izbjegavanje pojave korozije i udubljenja (rupica/pitting) na klipnjači cilindra je skladištenje stroja s uvučenim klipnjačama cilindra unutar cijevi cilindra. Ako je klipnjača cijelim svojim dijelom unutar cijevi cilindra, tada je njen najosjetljiviji dio uronjen u hidrauličku tekućinu i ona je time potpuno zaštićena.
- Drugi način da se smanji mogućnost korozije je parkiranje opreme s hidrauličnim cilindrima unutar prostora gdje su cilindri zaštićeni. To će značajno smanjiti koroziju.
- Treća metoda zaštite klipnjače od korozije je premaz klipnjače s mastima. Mast treba biti što teža i ljepljivija. U slučaju da se stroj koristi samo kratko tijekom sezone, tada se prilikom skladištenja, tijekom godine, mast treba obnavljati svaka dva do tri mjeseca.

#### 5.1.1 Otklanjanje kvara

Popravak cilindra se sastoji od izmjene odnosno izrade nove klipnjače prema uzorku kao i izmjenom svih brtvi i kliznih prstenova.

Opis rada:

1. Rastavljanje hidrauličkog cilindra
2. Pregled hidrauličkog cilindra kako bi se ustanovilo da nema nikakvih drugih kvarova

3. Izrada klipnjače  $\varnothing 40 \times 470$  mm prema uzorku na tokarskom stroju ZMM CU 1100 prikazanom na slici 25.
4. Zavarivanje prihvata; zavarivanje je provedeno MIG/MAG postupkom, korišten je uređaj „Fronius Transsteel 400 Pulse“ s pulsirajućom strujom (Slika 36). Primijenjen je zaštitni plin je Feromix (mješavina argona i CO<sub>2</sub>) te debljina žice 1.2 mm.



Slika 36. „Fronius Transsteel 400 Pulse“

(Izvor: Vlastita fotografija)

Navedeni uređaj je profesionalni impulsni aparat za zavarivanje s odvojenim dodavačem žice. Proizvodi se u zračno-hlađenoj i vodom-hlađenoj konfiguraciji, a ima mogućnost zavarivanja niskolegiranih i nehrđajućih čelika te aluminijskih legura.

5. Strojno poliranje glave klipa i ležaja glave cilindra s brusnim papirima različite granulacije od 180 – 400  $\mu\text{m}$  (napomena: sve površine koje se poliraju moraju biti očišćene od prljavštine niti hrđe)
6. Ugradnja novog brtvenog seta i podmazivanje istoga
7. Sastavljanje hidrauličkog cilindra
8. Tlačna proba

Tlačna proba se izvodi tako da se hidraulični cilindar pričvrsti na kompaktni agregat gdje se spaja sa hidrauličnim crijevima i ispituje se na radnom tlaku koju kupac zahtjeva. Radni tlak pri kojem se izvodi ispitivanje većinom iznosi 180 bara.



Kompaktni agregat (Slika 37.) se sastoji od pumpe, razvodnika, postolja, hidrauličnih crijeva te manometra. Kompaktni agregat na kojem se izvode tlačne probe u tvrtki „Matej hidraulika“ nije komercijalno nabavljiv nego je vlastiti proizvod tvrtke.



Slika 37. Kompaktni agregat za ispitivanje ispravnosti hidrauličkog cilindra  
(Izvor: <https://www.delhyd.com.au/capability/assembly/> )

## 5.2 Analiza procesa trošenja klipne brtve i klizećih prstenova

Kako je ranije navedeno i vidljivo na slici 31, uslijed „zaribavanja“, odnosno trošenja klipne brtve i klipnih prstenova zbog slabijeg podmazivanja dolazi do otkidanja komadića metala klipnih prstenova. Otkinuti oštri komadići metala prilikom rada hidrauličkog cilindra ulaze u prostor između glave cilindra i cilindra te oštećuju oba spomenuta dijela. Na slici 31 jasno su vidljivi tragovi oštećenja nastalih uslijed klizanja metala po metalu, odnosno tragovi (brazde) koje su na glavi cilindra nastali uslijed klizanja glave cilindra kroz cilindar.

Kod takvog kvara počinje proces gdje na glavi klipa u jednom trenutku otpadnu svi dijelovi namijenjeni brtvljenju i vode ju kroz cijev hidrauličnog cilindra te dolazi do struganja „metal od metal“, odnosno, glava cilindra struže od cijev cilindra što pogoduje nastanku špene odnosno krhotine od tih metalnih dijelova.

U najgorem slučaju sitne krhotine koje su nastale trenjem i trošenjem u hidrauličnom cilindru idu kroz sustav dalje (hidraulična crijeva, hidraulična pumpa, hidraulični razvodnik).

Kvar na navedenom primjeru otklanja se izradom nove glave klipa hidrauličkog cilindra, izradom nove cijevi ili honanjem postojeće cijevi.

Honanje ili vlačno glačanje je vrsta strojne obrade metala. To je kontrolirana, završna, abrazivna obrada koja se provodi na malim brzinama i silama. Prvi cilj honanja je produljenje radnog vijeka cijevi cilindra i klipnih prstena.

Drugi cilj honanja je smanjenje rizika od:

- Propuštanja kompresije
- Trošenja brtvenih prstenova
- Istrošenja cilindra

Treći cilj honanja je smanjenje potrošnje ulja za podmazivanje (Epet, 2020.).

Honanje predstavlja strojno poliranje cijevi iznutra i to kamenom ili brusnim papirom do granulacije 400 µm. Zbog troškova honanja, treba procijeniti je li isplativije provesti postupak honanja cijevi ili izraditi novu prema postojećem uzorku.

Prema europskoj normi cijev hidrauličnog cilindra je u većini slučajeva honana bešavna cijev (u nastavku rada bit će opisan primjer upotrebe „jeftine“ šavne cijevi cilindara koje uzrokuju trošenje klipnih brtvi i vodilica u cilindru).

Postoji nekoliko znakova koji unaprijed ukazuju da hidraulički cilindar ne radi ispravno, odnosno, da bi uskoro moglo doći do potpunog „gašenja“ istog. Hidraulički cilindri ne bi smjeli tijekom rada proizvoditi nikakve metalne zvukove.

Neugodne zvukove udaranja ili kucanja obično uzrokuje zrak u hidrauličnoj tekućini. Mjehurići zraka u sustavu prolaze kroz ekstremnu kompresiju i dekompresiju. Jedan od znakova da nešto nije u redu je kada hidraulički cilindar proizvodi vibracije (trese se).

Svaki gubitak glatkog pokreta loš je znak. To je često popraćeno povećanim smanjenjem snage i povećanjem topline cilindra. Vibracije su obično znak povećanog trenja, vjerojatno uzrokovanog istrošenim brtvama, nedovoljnim podmazivanjem ili nečim ozbiljnim kao što je savijena klipnjača. Ako se uoči da hidraulički pogon usporava ili da se događa gubitak snage, može se zaključiti da postoji neka vrsta unutarnjeg curenja ili trenja. Kada dođe do propuštanja, to znači da hidrauličkom cilindru treba više vremena da stvori potreban tlak. Ponekad vlasnici pojačavaju snagu kako bi prevladali gubitak performansi, ali to samo služi za prikrivanje problema. Ako se curenje ili oštećenje ne popravi, kroz određeno vrijeme cilindar će postati neupotrebljiv. Povećanje snage za kompenzaciju loših performansi dovodi do ubrzanja neizbježnog kvara cilindra. Zatim, iako određeni hidraulički cilindri doživljavaju porast temperature tijekom rada, oni su obično unutar propisanih granica koje je naveo proizvođač. U određenim situacijama, pri velikim brzinama ili opterećenjima, cilindri mogu biti zagrijani i na 120 °C, ali obično njihova temperatura ne bi trebala prelaziti 80 °C tijekom normalnog rada.

Neobičan porast temperature mogao bi biti simptom abnormalnih stanja unutar cilindra stoga je potrebno pratiti temperaturu cilindra.

Ako klipnjača pokazuje znakove povećanog trošenja na jednoj strani, to je pokazatelj neusklađenosti, prekomjernog bočnog opterećenja, savijene klipnjače ili nekog oblika unutarnjeg trošenja ili oštećenja. Ako se problem ne uoči na vrijeme, dolazi do gubitka snage, učinkovitosti i konačnog kvara.

### 5.2.1 Otklanjanje kvara

Redoslijed otklanjanja kvara se gotovo uvijek odvija na isti način.

1. Rastavljanje hidrauličkog cilindra kako bi se ustanovio kvar.
2. Pregledavanje svih dijelova hidrauličnog cilindra
3. Izrada nove glave klipa za peterodijelni brtveni sklop na tokarskom stroju ZMM CU 582 (sve brtvene mjere proizvođača brtvila moraju biti zadovoljene)
4. Izrada nove cijevi cilindra – honana bešavna cijev 80 x 92 dužine 455 mm
5. Zavarivanje prihvata i ulaza za ulje te bušenje rupa za protok ulja
6. Strojno poliranje ležaja glave cilindra brusnim papirom granulacije od 180 – 400  $\mu\text{m}$
7. Ugradnja novog brtvenog seta i podmazivanje istoga
8. Sastavljanje hidrauličnog cilindra
9. Tlačna proba

### 5.3 Analiza procesa trošenja šavne hidraulične cijevi

Šavne čelične cijevi izrađuju se na način da nakon provlačenja cijevi kroz posebnu matricu koja daje oblik, slijedi uzdužno zavarivanje cijevi. Ukoliko se šavne cijevi upotrebljavaju za izradu hidrauličnih cilindara dolazi do pojačanog trošenja klipnih brtvi na mjestu dodira brtve i zavara na hidrauličnom cilindru. Do takve pojave dolazi zbog geometrijskih nepravilnosti cijevi na mjestu zavara i različitog materijala zavara (moguće tvrđeg) od ostatka cijevi.

U praksi se često koriste dvije različite opcije za otklanjanje kvarova nastalih uslijed primjene šavnih cijevi za izradu hidrauličkih cilindara:

1. izmjena svih brtvi u hidrauličkom cilindru – tada „jeftina“ šavna cijev ostaje, a vlasnik je prisiljen mijenjat brtve svaku sezonu. Naravno, postoji mogućnost da se brtva potroši prije predviđenog vremena te onda dođe do puno većeg kvara.

2. izmjena hidraulične cijevi cilindra izrađene od šavne cijevi s honanom bešavnom cijevi te izmjena svih brtvi u cilindru što je znatno kvalitetnije rješenje i ako se gleda dugoročno, daleko isplativije.

## 6. ZAKLJUČAK

U sektoru poljoprivrede, strojevi pokretani hidrauličnim cilindrima intenzivno se koriste. Primjer su traktori, utovarivači, oprema za aplikaciju pesticida, mini utovarivači, preše za slamu i teški strojevi za sjetvu, plijevljenje i žetvu. Hidraulički sustavi su jednostavni, sigurni i ekonomični jer koriste manje pokretnih dijelova u usporedbi s mehaničkim i električnim sustavima, što ih čini lakšim za održavanje. Održavanje hidrauličkog sustava je vrlo bitno. Kako bi se spriječilo nastajanje kvarova, ono mora biti redovito i ispravno. Bitno je znati da su svi dijelovi hidrauličkog sustava međusobno povezani i svaki iznenadni kvar pojedinog dijela može dovesti do kvara nekog drugog dijela u hidrauličkom sustavu. U diplomskom radu su analizirana tri najčešća kvara hidrauličnog cilindra izazvana trenjem ili trošenjem dijelova istog. Eksperimentalni dio odrađen je u firmi „Matej hidraulik“ kao što je u uvodu napomenuto.

Korozija predstavlja jedan od najčešćih problema sa kojima se susreću vlasnici strojeva opremljenih hidrauličkim cilindrima. Najčešći problem je pojava korozije na klipnjači hidrauličkog cilindra. Bitno je znati da kada jednom dođe do pojave rupičaste korozije (engl. *pitting*) na površini klipnjače, tada je takvu klipnjaču vrlo teško vratiti u prvobitno stanje ponovnim poliranjem već je potrebno izraditi novu klipnjaču prema uzorku što je dosta skuplja opcija u odnosu na poliranje.

Još jedan učestao primjer kada dolazi do trenja i trošenja unutar cilindra je kada se na glavi klipa potroše klipna brtva i klizeći prsten. Brtve su potrošne komponente hidrauličkog cilindra što znači da se u eksploataciji njihovo stanje treba pratiti i po potrebi ih, pravovremeno zamijeniti, kako bi se spriječila pojava puno većih kvarova što je analizirano u eksperimentalnom dijelu rada. Pravovremena zamjena brtvi produžuje vijek trajanja cilindra.

Postupak izrade šavnih hidrauličkih cijevi daleko je jeftiniji te su one i samim time jeftinije od bešavnih cijevi. Bešavne cijevi su po definiciji potpuno homogene cijevi čija svojstva im daju veću čvrstoću, vrhunsku otpornost na koroziju i sposobnost da izdrže veći pritisak odnosno tlak u odnosu na šavne cijevi. Jedan od glavnih problema kod šavnih cijevi je upravo šav koji prolazi cijelom dužinom cijevi kao što je u eksperimentalnom dijelu spomenuto. Ako se problem šava odnosno potrošenog brtvenog seta ne uoči na vrijeme, to može dovesti i do puno većeg kvara. Zastupljenost šavnih hidrauličkih cijevi u poljoprivredi, uglavnom u priključnim strojevima je velika te je potrebno pratiti stanje hidrauličkog sklopa na sezonskoj razini.

Kako se populacija povećava, tako raste i potreba za hranom. Tijekom godina vidjeli smo kako poljoprivredna industrija raste. Iako je sam taj rast važan, također je važno shvatiti da povećana potražnja za proizvodnjom također znači povećanu potrebu za učinkovitim rješenjima. Trenutno postoje procjene da će za manje od 30 godina globalna populacija narasti na preko 9 milijardi ljudi, što će zasigurno rezultirati naglim povećanjem potražnje za hranom i vlaknima u poljoprivrednoj industriji kako bi se održalo ova rastuća populacija. Korištena poljoprivredna oprema mora biti učinkovita i dugotrajna kako bi se pratila potražnja. Zbog ove potražnje i ogromnog potencijalnog utjecaja na tržište hidrauličnih cilindara, proizvođači hidrauličnih cilindara svih veličina nude integrirana rješenja kako bi se izdvojili od konkurencije i ojačali svoje veze sa svojim kupcima. Integrirana rješenja znače da proizvođač ne nudi samo proizvod već i rješenja koja će se u potpunosti razlikovati od ostalih proizvođača na tržištu. No, osim poljoprivrede, vjerojatno će doći i do povećanja proizvodnje hidrauličnih cilindara zbog potrebe za rudarskom opremom, građevinskom opremom, te u vojnoj i zrakoplovnoj industriji, a samim time i potreba za održavanjem i reparacijom hidrauličkih cilindara će biti veća.

## 7. POPIS LITERATURE

1. Begović I. (2020.): Konstrukcija i izrada hidrauličkog cilindra za kransku kosilicu. Završni rad, Strojarski odjel, Veleučilište u Karlovcu.
2. Čabraja V. (2012.): Elektrokemijski korozijski postupci na nelegiranim konstrukcijskim čelicima. Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu.
3. Epet J. (2020.): Održavanje hidrauličkih dijelova i sklopova. Diplomski rad, Specijalistički diplomski studij strojarstva - Proizvodno strojarstvo, Veleučilište u Karlovcu.
4. Grbić Š.(2021.): Upravljanje hidrauličkim pogonom rovokopača. Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu.
5. Grilec, K., Jakovljević, S., Marić, G., Tribologija u strojarstvu, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2017, 228 str.
6. Hlupić S. (2011): Hidraulički sustavi s vodom kao medijem. Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu.
7. Ivušić, V., Tribologija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1998, 86 str.
8. Jelušić B. (2015.): Krilni hidraulični motor. Završni rad, Stručni studij strojarstva, Veleučilište u Karlovcu.
9. Kocelj M. (2016.): Ublažavanje udarca klipa hidrauličkog cilindra na završetku hoda. Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu.
10. Kolak I. (2016.): Spremanje silaže kombajnom "Claas Jaguar 840" na opg-u "Kolak". Završni rad, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.
11. Korbar R. (2007.): Pneumatika i hidraulika. Skripta, Veleučilište u Karlovcu.
12. Kučinić D. (2016.): Dimenzioniranje, modeliranje i simulacija servo-hidrauličke pumpe. Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu.
13. Kuridža A. (2020.): Regulacija pozicije dva hidraulička cilindra u mehaničkoj sprezi. Diplomski rad, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

14. Petrić J. (2012.): Hidraulika i Pneumatika, 1 dio: Hidraulika, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.
15. Polak F. (2020.): Univerzalni žitni kombajn. Diplomski rad, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.
16. Tirić T. (2017.): Zaštita od korozije odobalnih konstrukcija. Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu.

#### INTERNETSKI IZVORI

1. [https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/mehanika\\_fluida\\_statika\\_fluida.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/mehanika_fluida_statika_fluida.pdf)
2. <https://people.utm.my/shamsul/wp-content/blogs.dir/949/files/2015/12/Fluid-Power.pdf>
3. <https://hidropneumatskekomponente.wordpress.com/2011/12/07/klipni-razvodnici/>
4. <https://www.ufihyd.com/blog/hydraulics-filtration-in-the-agriculture-sector/>
5. [http://www.unizd.hr/portals/1/nastmat/S\\_Elementi/Brtve.pdf](http://www.unizd.hr/portals/1/nastmat/S_Elementi/Brtve.pdf)
6. [http://www.dampfkesselservice.ch/files/skript\\_dichtungstechnik.pdf](http://www.dampfkesselservice.ch/files/skript_dichtungstechnik.pdf)
7. <http://www.dihta.com/program-proizvodi/brtvila/brtve-cilindra/o-prstenovi/>
8. [https://elemstroj.fsb.hr/mehanicke/pdf/hidraulika\\_motori.pdf](https://elemstroj.fsb.hr/mehanicke/pdf/hidraulika_motori.pdf)
9. <https://www.thehopegroup.com/blog/2019/10/hydraulic-system-maintenance-how-to-succeed/>



## 8. SAŽETAK

Cilj ovog rada bio je ukazati na najčešće kvarove hidrauličnog cilindra izazvane trenjem ili trošenjem dijelova istog. U uvodnom dijelu rada opisan je hidraulički sustav kao i svi njegovi dijelovi. Detaljno je objašnjen hidraulički cilindar uključujući princip rada najčešćih izvedbi hidrauličkog cilindra kao i svi dijelovi od kojih se hidraulički cilindar sastoji. Hidraulične komponente i sustavi koriste se u komercijalnim poljoprivrednim sustavima diljem svijeta te čine poljoprivrednu proizvodnju bržom i učinkovitijom, uz smanjenje troškova rada. Eksperimentalni dio rada se sastoji od najčešćih primjera iz poljoprivredne proizvodnje gdje dolazi do kvara hidrauličnog cilindra izazvanog trenjem ili trošenjem njegovih dijelova. Analizirajući primjere iz rada, zaključuje se da su najčešći problemi koji dovode do oštećenja hidrauličkog cilindra oni izazvani korozijom, zatim korištenje šavnih hidrauličkih cijevi te potrošena klipna brtva. Vrlo je bitno na vrijeme prepoznati znakove koji ukazuju na to da hidraulički cilindar ne radi ispravno, a neki od najčešćih znakova navedeni su u diplomskom radu. Također, u radu su objašnjeni postupci otklanjanja pojedinih kvarova.

**Ključne riječi:** Hidraulički sustav, hidraulički cilindar, trenje, trošenje, korozija, klip, klipnjača

## 9. SUMMARY

The aim of this work was to point out the most common hydraulic cylinder failures caused by friction or wear of its parts. In the introductory part of the paper, the hydraulic system and all its parts are described. The hydraulic cylinder is explained in detail, including the principle of operation of the most common versions of the hydraulic cylinder, as well as all the parts of which the hydraulic cylinder consists. Hydraulic components and systems are used in commercial farming systems around the world to make agricultural production faster and more efficient, while reducing labor costs. The experimental part of the work consists of the most common examples from agricultural production where a failure of a hydraulic cylinder occurs caused by friction or wear of its parts. Analyzing the examples from the work, it is concluded that the most common problems that lead to damage to the hydraulic cylinder are those caused by corrosion, then the use of seamed hydraulic pipes and a worn piston seal. It is very important to recognize in time the signs that indicate that the hydraulic cylinder is not working properly, and some of the most common signs are listed in the thesis. The work also explains the procedures for eliminating certain malfunctions.

**Key words:** Hydraulic system, hydraulic cylinder, friction, wear, corrosion, piston, connecting rod

## 10. POPIS SLIKA

Slika 1. Hidrostatički prijenosnik

Slika 2. Prikaz toka energije kroz hidraulički sustav

Slika 3. Zupčasta pumpa sa vanjskim ozubljenjem

Slika 4. Klipni razvodnik

Slika 5. Simbol (lijevo) i stvarni izgled hidrauličkog cilindra (desno)

Slika 6. Hidraulički cilindar

Slika 7. Dijelovi hidrauličkog cilindra

Slika 8. Prikaz standardiziranog priključka traktora- trozglobna poteznica

Slika 9. Mazzotti samohodna prskalica IBIS 3145 LP

Slika 10. Heder (čeonik) silo kombajna u radnom položaju

Slika 11. Cat 930M utovarivač

Slika 12. Klip

Slika 13.a i 13.b. Okrugli (OR) klipni prstenovi – klipna brtva DBS 70x50x22,40

Slika 14. Shematski prikaz - klipnjača

Slika 15. Shematski prikaz glave cilindra

Slika 16. Cijev hidrauličnog cilindra

Slika 17. Presjek prigušnog klipa

Slika 18.a jednoradni cilindar s uronjenom klipnjačom (tzv. „plunđer“)

Slika 18.b jednoradni cilindar s povratnim hodom pomoću opruge

Slika 19.a Dvoradni diferencijalni cilindar

Slika 19.b Dvoradni cilindars prolaznom klipnjačom

Slika 20. Dvoradni hidraulički cilindar

Slika 21. Teleskopski cilindar

- Slika 22. Teleskopski cilindar za prikolicu „Zmaj – 8t“
- Slika 23. Hidraulički cilindar zahvaćen korozijom
- Slika 24. Potrošena klipna brtva i klizeći prstenovi
- Slika 25. Tokarski stroj „ZMM 1100 CU“
- Slika 26. Preša TECHMAFLEX PE 28 za izradu hidrauličkih crijeva
- Slika 27. Hidraulički cilindar 180x90 – radni hod 900
- Slika 28. Upotreba hidrauličkih cilindara u procesu kogeneracije
- Slika 29. Hidraulički cilindar zahvaćen korozijom
- Slika 30. Oštećenje klipnjače
- Slika 31. Glava klipa sa potrošenom klipnom brtvom i klizećim prstenovima
- Slika 32. Istrošena šavna honovana cijev
- Slika 33. Bešavna honovana cijev
- Slika 34. Potrošena klipna brtva
- Slika 35. Rupičasta „pitting“ korozija na klipnjači hidrauličkog cilindra
- Slika 36. „Fronius Transsteel 400 Pulse“
- Slika 37. Kompaktni agregat za ispitivanje ispravnosti hidrauličkog cilindra

## **11. POPIS TABLICA**

Tablica 1. Usporedba različitih energetske sustava

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija

Diplomski rad

## Analiza trošenja hidrauličkih cilindara poljoprivrednih strojeva

Josip Kraljević

### Sažetak:

Cilj ovog rada bio je ukazati na najčešće kvarove hidrauličnog cilindra izazvane trenjem ili trošenjem dijelova istog. U uvodnom dijelu rada opisan je hidraulički sustav kao i svi njegovi dijelovi. Detaljno je objašnjen hidraulički cilindar uključujući princip rada najčešćih izvedbi hidrauličkog cilindra kao i svi dijelovi od kojih se hidraulički cilindar sastoji. Hidraulične komponente i sustavi koriste se u komercijalnim poljoprivrednim sustavima diljem svijeta te čine poljoprivrednu proizvodnju bržom i učinkovitijom, uz smanjenje troškova rada. Eksperimentalni dio rada se sastoji od najčešćih primjera iz poljoprivredne proizvodnje gdje dolazi do kvara hidrauličnog cilindra izazvanog trenjem ili trošenjem njegovih dijelova. Analizirajući primjere iz rada, zaključuje se da su najčešći problemi koji dovode do oštećenja hidrauličkog cilindra oni izazvani korozijom, zatim korištenje šavnih hidrauličkih cijevi te potrošena klipna brtva. Vrlo je bitno na vrijeme prepoznati znakove koji ukazuju na to da hidraulički cilindar ne radi ispravno, a neki od najčešćih znakova navedeni su u diplomskom radu. Također, u radu su objašnjeni postupci otklanjanja pojedinih kvarova.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** dr. sc. Ivan Vidaković

**Broj stranica:** 48

**Broj slika:** 37

**Broja tablica:** 1

**Broj literaturnih navoda:** 25

**Broj priloga:** -

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** Hidraulički sustav, hidraulički cilindar, trenje, trošenje, korozija, klip, klipnjača

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. prof. dr. sc. Goran Heffer, predsjednik
2. dr. sc. Ivan Vidaković, mentor
3. izv. prof. dr. sc. Vjekoslav Tadić, član
4. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, zamjenski član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

# **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek  
University Graduate Studies, course Mechanization**

**Graduate thesis**

**Wear analysis of hydraulic cylinders on agricultural machinery**

Josip Kraljević

**Abstract:**

The aim of this work was to point out the most common hydraulic cylinder failures caused by friction or wear of its parts. In the introductory part of the paper, the hydraulic system and all its parts are described. The hydraulic cylinder is explained in detail, including the principle of operation of the most common versions of the hydraulic cylinder, as well as all the parts of which the hydraulic cylinder consists. Hydraulic components and systems are used in commercial farming systems around the world to make agricultural production faster and more efficient, while reducing labor costs. The experimental part of the work consists of the most common examples from agricultural production where a failure of a hydraulic cylinder occurs caused by friction or wear of its parts. Analyzing the examples from the work, it is concluded that the most common problems that lead to damage to the hydraulic cylinder are those caused by corrosion, then the use of seamed hydraulic pipes and a worn piston seal. It is very important to recognize in time the signs that indicate that the hydraulic cylinder is not working properly, and some of the most common signs are listed in the thesis. The work also explains the procedures for eliminating certain malfunctions.

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

**Mentor:** dr. sc. Ivan Vidaković

**Number of pages:** 48

**Number of figures:** 37

**Number of tables:** 1

**Number of references:** 25

**Number of appendices:** -

**Original in:** Croatian

**Key words:** Hydraulic system, hydraulic cylinder, friction, wear, corrosion, piston, connecting rod

**Thesis defended on date**

**Reviewers:**

1. prof. dr. sc. Goran Heffer, predsjednik
2. dr. sc. Ivan Vidaković, mentor
3. izv. prof. dr. sc. Vjekoslav Tadić, član
4. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, zamjenski član

**Thesis deposited at:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.