

# ZVIŠEVANJE ENERGIJSKE UČINKOVITOSTI INDUSTRIJSKIH HIDRAVLIČNIH SISTEMOV Z UPORABO VARIABILNIH POGONSKIH SKLOPOV

Matevž Štefane

## Izvleček:

Trajnostni razvoj in zeleni dogovor sta zelo pomembna za ohranitev naravnega okolja in izboljšanje energetske učinkovitosti. Omenjeno je zelo povezano s proizvajalci strojev in naprav, kamor sodijo tudi izdelovalci hidravličnih pogonov. V okviru javnega razpisa je bil izveden pilotni projekt, povezan z iskanjem boljših izvedb hidravličnih pogonov. Večji del izgub v hidravličnem sistemu je posledica trenja in notranjega puščanja črpalke ter tlačnih izgub pri pretakanju. V prispevku so opisani hidravlični pogonski sistemi s konstantnim in spremenljivim pretokom, črpalke s konstanto in spremenljivo iztislino, njihove prednosti, slabosti in omejitve. Opisane so omejitve uporabe asinhronskih in servopogonskih elektromotorjev. V nadaljevanju so opisani potek izvedbe in glavne ugotovitve pilotnega projekta. Ugotovljeno je bilo, da se dražji hidravlični regulacijski sistemi izplačajo v nekaj letih uporabe.

## Ključne besede:

trajnostni razvoj, evropski zeleni dogovor, energetska učinkovitost, hidravlični sistemi, konstantna iztislina, spremenljiva iztislina, asinhronski elektromotor, elektromotor, frekvenčni pretvornik

## 1 Uvod

Svet se na podlagi svetovnih in evropskih iniciativ ter predpisov vedno bolj usmerja k trajnostnim praksam. Tudi industrijski sektor Evropske unije ni izjema, kar je razvidno iz paketa Evropski zeleni dogovor (ang. European Green Deal) [1]. Podjetja so primorana v pričetek proaktivnega razmišljanja o zelenem prehodu. Trije glavni podnebni in energetski cilji so: doseganje ničelnih emisij ogljika, zmanjševanje vplivov podnebnih sprememb in doseganje cilja 20-20-20, ki predstavlja 20-odstotno zmanjšanje izpusta toplogrednih plinov, 20-odstotno povišanje energetske učinkovitosti ter 20-odstotno uporabo obnovljive energije. Evropska unija je nedavno sprejela cilj zmanjšanja neto emisij za 55 % do leta 2030. Ta cilj utira pot za doseg podnebne nevtralnosti v Evropi do leta 2050. Doseganje cilja EU glede energetske učinkovitosti do leta 2030 bo zahtevalo tudi znatno zmanjšanje porabe energije v primerjavi z izboljšanjem učinkovitosti, doseženim med letoma 2005 in 2020. [2] Združena študija skupine Boston Consulting in skupine VDMA (Nemško združenje strojne industrije) izpostavlja, da je mogoče emisije CO<sub>2</sub> iz industrijskih toplogre-

dnih plinov zmanjšati za 13 giga ton do leta 2030 in do leta 2050 za 30 giga ton. Proizvajalci strojev in opreme bodo imeli v naslednjem desetletju bistveno vlogo pri zmanjševanju emisij toplogrednih plinov, ki povzročajo globalno segrevanje. Njihovi izdelki in storitve bodo zagotovili večjo učinkovitost in tehnološke inovacije, potrebne za znatno zmanjšanje ogljičnega odtisa njihovih strank. [3] Na podlagi večletnega sodelovanja z uporabniki hidravličnih sistemov na slovenskem trgu vemo, da postaja poraba električne energije hidravličnih sistemov vedno bolj pomembna tematika. Predvsem se pojavlja potreba po optimizaciji sistemov v fazah delovnih ciklov, ko hidravlika ne opravlja koristnega dela, npr. čakanje stroja na nov obdelovanec. V okviru prijave na javni razpis z naslovom »Podpora zagonskim mikro, malim in srednjim podjetjem pri strateški trajnostni in krožni transformaciji poslovanja v letih 2022-2025« je podjetje LA & CO, d. o. o., izvedlo pilotni projekt s fokusom na pogonske sklope hidravličnih sistemov ter možne rešitve za njihovo optimizacijo.

## 2 Učinkovitost hidravličnih sistemov

Na splošno je hidravlični sistem stroškovno učinkovita rešitev za aplikacije, ki zahtevajo visoko gostoto moči ter visoke navore. Večina hidravličnih siste-

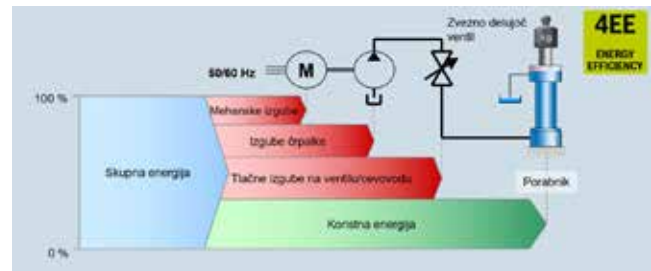
Matevž Štefane, mag., La & Co., d. o. o., Limbuš

mov ni zasnovana s ciljem minimaliziranja porabe energije, zato so energetske slabše učinkoviti.

Hidravlični stroji pretvarjajo električno energijo najprej v mehansko – elektromotor kot pogon črpalke, nato v hidravlično – črpalke ter končno v mehansko energijo – aktuator v obliki hidravličnega valja ali hidravličnega motorja. Pri vsaki pretvorbi energije se soočamo z izgubami. Ko govorimo o učinkovitosti hidravličnega sistema, ta niha med 6 in 60 odstotkov [4].

### Energijska bilanca v hidravličnih sistemih

Slika 1 prikazuje energijsko bilanco klasičnega hidravličnega sistema, kjer sta uporabljena elektromotor s konstantnimi vrtljaji in hidravlična črpalke s konstantno iztislino, breme pa je regulirano preko zvezno delujočega potnega ventila. Razvidno je, da se velik del izgub pojavlja na pogonskem sklopu hidravličnega sistema.



Slika 1 : Energijska bilanca klasičnega hidravličnega sistema

## 3 Hidravlični pogonski sistemi s konstantnim in spremenljivim pretokom

### 3.1 Razlogi za implementacijo

Energijska bilanca klasičnega hidravličnega sistema je slaba. Za njeno izboljšanje je fokus na konceptu »energije na zahtevo« (ang. Energy on demand). Z realizacijo takšnega sistema generiramo hidravlično energijo samo takrat, ko hidravlični sistem opravlja koristno delo. Za realizacijo takšnega sistema se implementira variabilni pogonski sklop (elektromotor in hidravlična črpalke). Prednosti, ki jih prinaša implementacija variabilnega pogona:

- ▶ znižanje porabe energije sistema v delno obremenjenih in neobremenjenih fazah delovnega cikla, znižani stroški energije in nižji ogljični odtis;
- ▶ znižanje generacije toplote v hidravličnem sistemu z znižanjem povprečne vrtilne hitrosti črpalke. Posledično je nižja potreba po hlajenju v sistemu;
- ▶ nižja emisija hrupa, ki ga generira hidravlični sistem. Integracija v stroj je mogoča brez dodatnih protihrupnih zaščit;
- ▶ cenovno dostopne rešitve – razvoj je pocenil komponente, potrebne za implementacijo.

### 3.2 Delitev pogonskih sistemov

Pogonske sisteme lahko razdelimo v skupine glede na tip elektromotorja in črpalke. Pogonski elektromotor je lahko servo ali asinhronski. Zaradi visoke cene servopogonov te redkeje zasledimo v industrijski hidravliki. Zato so asinhronski motorji še vedno najpogosteje uporabljeni pogon v industrijski hidravliki. Črpalke pa je mogoče umestiti v eno od dveh skupin: črpalke s konstantno iztislino in črpalke s spremenljivo iztislino. Pri črpalakah s konstantno iztislino je ta pri enem polnem ( $360^\circ$ ) zasuku

gredi ves čas konstanta, pri spremenljivi iztislini pa jeta poljubna, tj. med nič in največjo možno. Iztislina črpalke se lahko nastavlja z mehanskim ali električnim regulatorjem, ki je vgrajen na hidravlični črpalke. Zaradi kompleksnejše izvedbe so hidravlične črpalke s spremenljivo iztislino dražje od izvedb s konstantno iztislino.

### 3.3 Omejitve črpalke

Pri uporabi hidravličnih črpalke v variabilnem pogonskem sistemu je potrebno upoštevati njihove konstrukcijske omejitve, ki se odražajo v določenih prednostih in slabostih. V nadaljevanju sta podrobneje obravnavana dva najpogostejša tipa hidravličnih črpalke, ki sta uporabljena v variabilnih črpalnih enotah.

#### 3.3.1 Zobniške črpalke z notranjim ozobjem

Prednosti črpalke z notranjim ozobjem so:

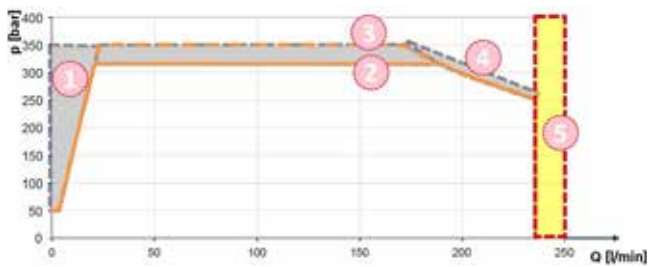
- ▶ nizek vztrajnostni moment,
- ▶ majhna pulzacija pretoka,
- ▶ nižja stopnja hrupa v primerjavi z zobniškimi črpalkami z zunanjim ozobjem in
- ▶ visok skupni izkoristek.

Slabosti črpalke z notranjim ozobjem so:

- ▶ težje vzdrževanje,
- ▶ notranje puščanje iz visokotlačne na nizekotlačno stran črpalke generira toploto, ki je pri vrtilnih hitrostih, nižjih od 100 vrtljajev na minuto, ni možno odvajati;
- ▶ za aplikacije, kjer je potreben pretok manjši od minimalnega dopustnega za črpalke, je potrebna vgradnja dodatnega omejevalnika pretoka, kar znižuje volumetrični izkoristek črpalke.

#### 3.3.2 Omejitve uporabe črpalke z notranjim ozobjem

Slika 2 prikazuje omejitve zobniške črpalke z notranjim ozobjem, ki jih je potrebno upoštevati pri izbiri:



Slika 2 : Omejitve zobniške črpalke z notranjim ozobjem

- ▶ 1 - Minimalna vrtilna hitrost - notranje puščanje povzroča generacijo toplote v območju (1), obratovanje v tem območju je dovoljeno le v krajših časovnih intervalih.
- ▶ 2 - Kontinuiran tlak črpalke - črpalka lahko deluje kontinuirano v območju pod krivuljo (2).
- ▶ 3 - Kratkotrajni maksimalni tlak črpalke - črpalka lahko le v krajšem časovnem intervalu deluje na višjem tlaku. Potrebno je paziti, da v skupnem delovnem ciklu ne presežemo dopustnega časovnega intervala. Npr. za črpalko tipa PGH proizvajalca Bosch Rexroth znaša ta interval maksimalno 6 sekund, tj. do 15 % delovnega cikla.
- ▶ 4 - Omejitev moči črpalke je določena z maksimalno močjo pogona. Če je pogon premočan, tvegamo poškodbo črpalke.
- ▶ 5 - Maksimalna vrtilna hitrost in pretok črpalke za črpalko PGH proizvajalca Bosch Rexroth znaša 3000 vrtljajev na minuto.

### 3.3.3 Batne črpalke s spremenljivo iztisinno

Ena izmed boljših rešitev je uporaba batnih črpalk s spremenljivo iztisinno. Njihove prednosti so:

- ▶ lahko omogočajo visoke pretoke,
- ▶ omogočajo visok obratovalni tlak,
- ▶ omogočajo zunanji odvod notranjega puščanja in tako lahko spremljamo stanje obrabe črpalke,
- ▶ omogočajo spremenljivo iztisinno glede na potrebe v sistemu.

Slabosti batnih črpalk s spremenljivo iztisinno so:

- ▶ visoka raven hrupa,
- ▶ pulzirajoč pretok,
- ▶ višja cena.



Slika 3 : Omejitve batne črpalke s spremenljivo iztisinno

Omejitve pri uporabi batnih črpalk s spremenljivo iztisinno so prikazane na sliki 3.

Omejitve batne črpalke s spremenljivo iztisinno, ki jih je potrebno upoštevati pri izbiri, so:

- ▶ 1 - Minimalna vrtilna hitrost - zaradi zunanjega odvoda notranjega puščanja je odpravljena omejitev minimalnih vrtljajev črpalke. Minimalni vrtljaji so pogojeni z izbiro pogonskega motorja ob predpostavki, da je  $V_g < 40\%$ .
- ▶ 2 - Kratkotrajni maksimalni tlak črpalke - črpalka lahko v krajšem časovnem intervalu deluje na višjem tlaku. Potrebno je paziti, da v skupnem delovnem ciklu ne presežemo dopustnega časovnega intervala.
- ▶ 3 - Maksimalna vrtilna hitrost in pretok črpalke za črpalko A10VZO proizvajalca Bosch Rexroth znaša 3.600 vrtljajev na minuto.

### 3.4 Omejitve pogonskih elektromotorjev

Kot pri črpalkah je tudi pri pogonskih elektromotorjih potrebno upoštevati njihove konstrukcijske omejitve. Zaradi nižje cene in preproste konstrukcije velja asinhronski elektromotor še vedno za standard v industrijski hidravliki. Zato je v nadaljevanju podrobneje obravnavan v povezavi s frekvenčnim pretvornikom. Ker pa je v praksi že mogoče zaslediti aplikacije s servomotorjem, smo kratko omenili tudi njegove prednosti in slabosti.

#### 3.4.1 Servomotor

Prednosti uporabe servomotorjev so:

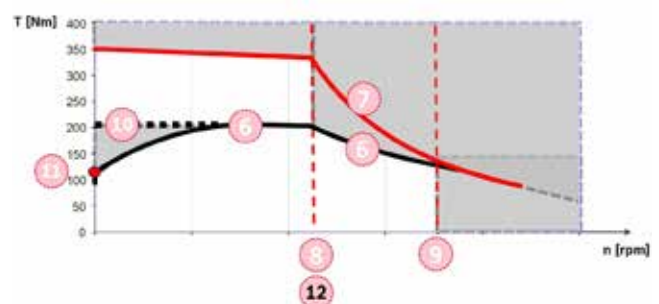
- ▶ visoka dinamika zaradi nižjega vztrajnostnega momenta in
- ▶ višje vrtilne hitrosti.

Slabosti uporabe servomotorjev pa so predvsem visoka cena.

#### 3.4.2 Asinhronski motor

Prednosti uporabe asinhronskih elektromotorjev so:

- ▶ postali so industrijski standard v hidravliki in
- ▶ nizka cena.



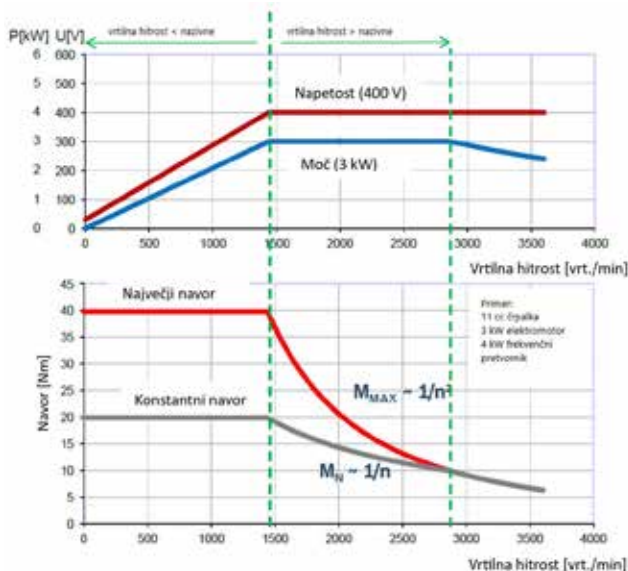
Slika 4 : Omejitve asinhronskega motorja

Slabosti uporabe asinhronskih elektromotorjev so:

- ▶ nižja dinamika zaradi visokega vztrajnostnega momenta in
- ▶ uporabna vrtilna hitrost do 2.400 vrtljajev na minuto (za 4-polni motor).

Omejitve asinhronskega motorja z uporabo frekvenčnega pretvornika so prikazane na *sliki 4*.

- ▶ 6 - nazivni navor motorja prične padati pri višji vrtilni hitrosti od nazivne;
- ▶ 7 - maksimalni navor motorja prične padati in se z višanjem vrtilne hitrosti približuje nazivni vrednosti;
- ▶ 8 - območje oslavitve magnetnega polja - ko je dosežena prelomna frekvenca (ang. corner frequency), napetosti ni več mogoče povečati. Magnetni tok se zmanjša in magnetno polje oslabi. Navor se zmanjšuje z naraščajočo frekvenco oziroma hitrostjo v razmerju na  $1/n$  (*slika 5*).

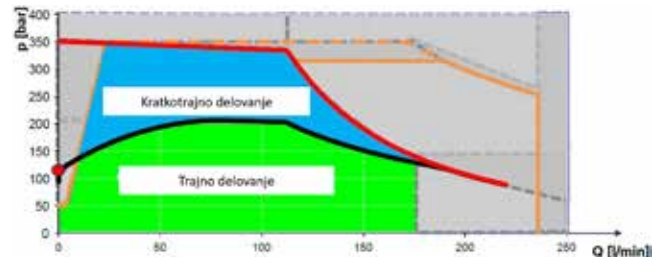


**Slika 5 :** Območje oslavitve magnetnega polja asinhronskega elektromotorja

- ▶ 9 - dinamika motorja do prelomne frekvence (ang. corner frequency) - imamo na razpolago polno dinamiko pospeševanja motorja, v območju oslabiljenega magnetnega polja je na voljo reducirana zmožnost pospeševanja, ko presežemo točko, kjer se stikata nazivni in nominalni navor (*slika 5*), nadaljnje pospeševanje ni več mogoče;
- ▶ 10 - omejitve navora s konceptom hlajenja - pri uporabi prisilnega hlajenja lahko motor trajno deluje na nižjih vrtilnih hitrostih, brez prisilnega ventilatorja pa je potrebno upoštevati zmanjšano moč odvajanja toplote pri nižjih vrtljajih;
- ▶ 11 - zastojni navor - navor je mogoče trajno zagotavljati v celotnem razponu hitrosti znotraj nominalne navorne karakteristike;

- ▶ 12 - prelomna frekvenca - dokler se napetost povečuje s frekvenco, sta magnetni tok in navor konstantna. Točko, kjer se napetost ne povečuje s frekvenco, imenujemo kotna/prelomna frekvenca (ang. corner frequency).

Upoštevajoč vse omejitve dobimo območje, v katerem lahko motor deluje trajno (zeleno področje), ter območje, ki je kratkotrajno na razpolago (modro področje), predstavljeno na *sliki 6*.



**Slika 6 :** Območje trajnega in kratkotrajnega delovanja asinhronskega motorja

## 4 Pilotni projekt

V sklopu pilotnega projekta smo projektirali nov hidravlični sistem, namenjen testiranju končnih izdelkov kupca. Pri novem sistemu smo namenili podarek energetski učinkovitosti pogonskega sklopa. S tem namenom smo izvedli primerjalno analizo porabe električne energije v različnih delovnih točkah med klasičnim sistemom - konstantni vrtljaji elektromotorja v povezavi s črpalko s spremenljivo iztislino in z variabilnim sistemom - spremenljiva vrtilna frekvenca gredi elektromotorja v povezavi s črpalko s spremenljivo iztislino. Predvsem so nas zanimala točka, kjer sistem čaka (ne opravlja koristnega dela), saj se v teh točkah vsa uporabna energija pretvarja v toploto. Variabilni tip pogona hidravlične črpalke je pri podjetju Bosch Rexroth označen s komercialno oznako Sytronix Drn.

### 4.1 Izbira komponent

Ob upoštevanju omejitev posameznih komponent in podanih projektnih zahtev so bile izbrane sledeče komponente:

- ▶ hidravlična črpalka akisalno-batne izvedbe proizvajalca Bosch Rexroth tipa A4VSO, nazivne iztislino 71 cm<sup>3</sup>/vrt. z mehanskim regulatorjem DFR1. Na krmilni vod črpalke smo vgradili proporcionalni tlačno omejitveni ventil proizvajalca Bosch Rexroth tipa DBETA-6X/P350G24K31F1V, ki omogoča daljinsko zvezno nastavitve maksimalnega tlaka črpalke v območju, nižjem od fizične nastavitve vzmeti na tlačnem regulatorju črpalke;
- ▶ asinhronski elektromotor proizvajalca WEG



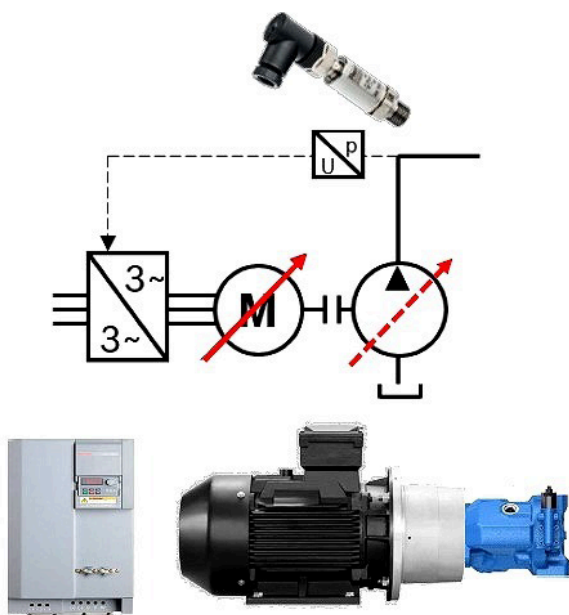
W22-IE4 280 S/M-4 nazivne moči 75 kW;

- ▶ tlačni senzor proizvajalca Bosch Rexroth tipa HM 20-2X/400-C-K35-N, katerega izhodni signal je povezan neposredno na analogni vhod frekvenčnega pretvornika;
- ▶ frekvenčni pretvornik proizvajalca Bosch Rexroth tipa EFC5610-75K0-3P4-MDA-7P-DR-NNN-L1NN in nazivne moči 75 kW.

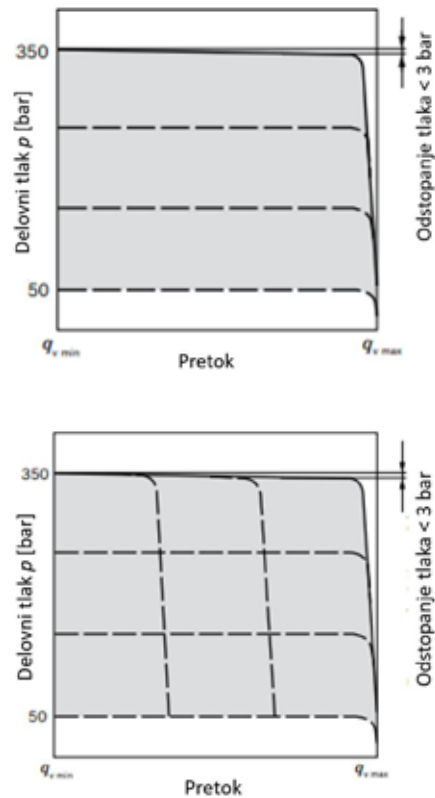
## 4.2 Delovanje sistema

Frekvenčni pretvornik t. i. ang. »pump drive« podjetja Bosch Rexroth ima vgrajeno posebno programsko opremo, ki omogoča samodejno optimalno prilagajanje vrtilne hitrosti gredi črpalke. Tlačni senzor na tlačnem vodu črpalke pošilja aktualno vrednost tlaka v sistemu neposredno v frekvenčni pretvornik, ki nato glede na zelene in dejanske vrednosti tlaka in pretoka v sistemu aktivno prilagaja izhodno frekvenco. Na *sliki 7* so prikazani grafični simboli, ob njih pa slike fizičnih komponent, ki jih ti predstavljajo. V primerjavi s klasičnim pogonom s konstantnimi vrtljaji sta za implementacijo potrebni le dve dodatni komponenti – frekvenčni pretvornik in tlačni senzor z analognim izhodom.

Za pilotni sistem smo dodatno vgradili še proporcionalni tlačno omejitveni ventil na krmilnem vodu regulatorja črpalke, s katerim je mogoče zvezno prestavljati točko maksimalnega tlaka črpalke. Tako vplivamo na mehanski regulator črpalke, ki prekrmili črpalko v minimalni pretok, kar odgovarja delovni točki, v kateri se nahaja sistem. Za primerjavo klasični tlačni regulator črpalke deluje tako, da je črpalka nastavljena na maksimalni pretok, dokler v sistemu ni dosežen maksimalni tlak, nastavljen na črpalki. Ko je ta dosežen, prekrmili črpalko v mini-



**Slika 7 :** Grafični prikaz uporabljenih komponent in shema testiranega sistema



**Slika 8 :** Karakteristična krivulja regulatorja DR (zgoraj) in regulatorja DFR1 (spodaj)

malen pretok. Karakteristični krivulji regulatorjev sta prikazani na *sliki 8*.

## 4.3 Primerjava novega in starega sistema

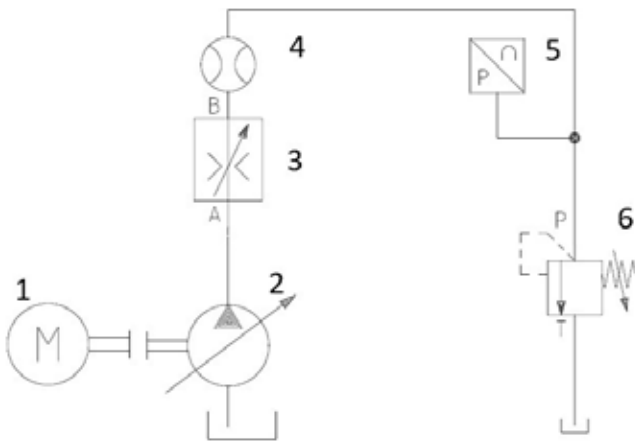
Ker je celotno preizkuševališče kompleksno, je hidraulična shema za obravnavano tematico preobširna. Za lažje razumevanje sta klasičen (obstoječ) in variabilen (nov) pogonski sklop prikazana na ponostavljen način.

### 4.3.1 Klasični pogonski sklop

Klasični pogonski sklop, prikazan na *sliki 9*, je sestavljen iz asinhronskega elektromotorja s konstantnimi vrtljaji (pozicija 1), batne črpalke s spremenljivo iztisinno s tlačnim regulatorjem (pozicija 2), regulatorja pretoka (pozicija 3), merilnika pretoka (pozicija 4), senzorja tlaka (pozicija 5) in tlačno omejitvenega ventila (pozicija 6) za simulacijo bremena.

### 4.3.2 Variabilni pogonski sklop

Klasičnemu pogonskemu sklopu so v variabilnem sklopu (*slika 10*) dodatno vgrajeni še frekvenčni pretvornik (pozicija 7), tlačni senzor na tlačnem vodu za hidraulično črpalko (pozicija 8), batna črpalka s spremenljivo iztisinno z daljinskim regulatorjem (pozicija 2), na katerega je povezan proporcionalni tlačno omejitveni ventil (pozicija 9).



Slika 9 : Hidravlična shema klasičnega pogonskega sklopa

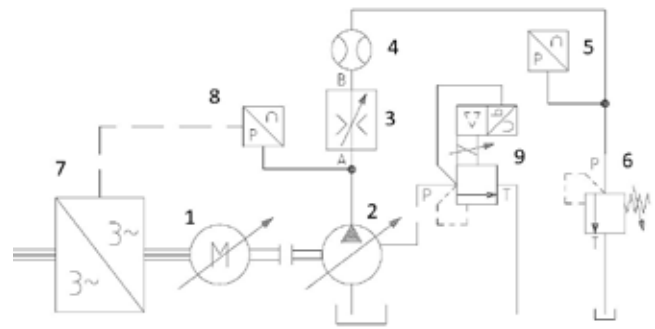
#### 4.4 Delovne točke sistema

Hidravlični sistem je namenjen testiranju različnih izdelkov končnega kupca. Ko je sistem polno obremenjen, je prihranek energije zanemarljiv. Osredotočili smo se na faze v ciklu, ko sistem ni polno obremenjen in je smiselno razmišljati o konceptu energije na zahtevo (ang. energy on demand). To so deli v delovnem ciklu, ko hidravlika ne opravlja koristnega dela ali pa ni polno obremenjena. Takrat se vsi viški dovedene energije pretvarjajo v toploto, ki negativno zvišuje temperaturo hidravličnega olja. Delovne točke so zapisane v preglednici 1.

#### 4.5 Izvedba meritev

V sistemu smo merili trenutno porabo črpalnega sklopa v dani delovni točki. Meritev je bila izvedena z merilnim centrom Iskra MC330. V preglednici 2 je prikazana primerjava trenutne porabe pogonskih sklopov v različnih delovnih točkah.

V točkah 1, 2, 4 in 7 je bila aktivna funkcija držanja tlaka ob minimalnem pretoku, s katerim se pokriva jo vsa notranja puščanja v sistemu. V teh točkah sistem samodejno z zmanjšanjem vrtilne hitrosti gredi motorja na 350 vrtljajev na minuto in nastavitvijo



Slika 10 : Hidravlična shema variabilnega pogonskega sklopa

Preglednica 1 : Delovne točke sistema

Delovna točka p[tlak] / Q[pretok]	
1	p = 100 bar / Q = 5 l/min
2	p = 120 bar / Q = 120 l/min
3	p = 120 bar / Q = 5 l/min
4	p = 50 bar / Q = 70 l/min
5	p = 200 bar / Q = 5 l/min
6	p = 200 bar / Q = 85 l/min
7	p = 50 bar / Q = 60 l/min
8	p = 300 bar / Q = 5 l/min

proporcionalnega tlačnega ventila na isto vrednost prihrani med 45 % ter 80 % električne energije.

Točke 3, 5 in 6 predstavijo dele cikla, ko je potreba po pretoku manjša od nazivnega pretoka črpalke. V teh situacijah je optimalno s črpalko generirati le potreben pretok. Sistem to doseže s spreminjanjem vrtilne hitrosti gredi motorja, kar posledično spreminja vrtilno frekvenco črpalke. Sprememba se odraža v količini olja, ki ga črpalka črpa v sistem. V takšnem režimu delovanja prihranimo v primerjavi z obstoječim sistemom med 38 % ter 79 %.

Zadnja meritev je delovna točka, ki zahteva polni pretok, ne pa visokega tlaka. V tem primeru je prihranek manjši in znaša 4 %.

Preglednica 2 : Rezultat meritev porabe električne energije v posameznih delovnih točkah

Delovna točka p[tlak]/Q[pretok]	Klasični pogonski sklop P[kW]	Variabilen pogonski sklop P[kW]	Razlika [%]
1 p = 100 bar/Q = 5 l/min	3,5	1,0	71,4
2 p = 120 bar/Q = 5 l/min	3,9	1,2	69,4
3 p = 50 bar/Q = 70 l/min	12,7	2,8	77,9
4 p = 200 bar/Q = 5 l/min	5,0	1,8	64,3
5 p = 200 bar/Q = 85 l/min	38,5	23,6	38,7
6 p = 50 bar/Q = 60 l/min	10,8	2,2	79,6
7 p = 300 bar/Q = 5 l/min	5,5	3,0	44,9
8 p = 120 bar/Q = 120 l/min	18,6	17,8	4,3

## Interpretacija rezultatov

Iz meritev je razvidno, da so na hidravličnih sistemih možni prihranki z implementacijo variabilnih pogonskih sklopov. Seveda je potrebno omeniti, da so prihranki mogoči le v delih cikla, ko sistem ni polno obremenjen. Odstotek prihranka je odvisen od delovne točke (tlak/pretok) in njenega časa trajanja, kar se odraža v velikem razponu prihranka med različnimi izmerjenimi točkami. Prihranki v delovnih točkah, ko sistem ni polno obremenjen, niso zanemarljivi, saj lahko, odvisno od profila celotnega cikla sistema, doprinesejo prihranke celotnega sistema med 10 % in 30 %, v nekaterih aplikacijah celo do 40 %. Dodatna prednost uporabe takšnega pogona je znižanje generacije toplote, ki nastaja kot posledica presežka pretoka olja v sistemu.

## 4.6 Hrup

Visoka gostota moči in s tem povezana visoka emisija hrupa hidravličnih komponent povzročata, da so industrijski hidravlični sistemi tarča prizadevanj za zmanjšanje povprečnih ravni hrupa. Hidravlična črpalka je glavni povzročitelj hrupa.

### Meritev hrupa

Med izvajanjem meritev porabe smo vzporedno izvajali meritev hrupa. Za izvedbo meritev smo uporabili merilni instrument VoltCraft SL-451, ki je bil postavljen 1 meter od hidravlične črpalke. Rezultati meritev so podani v *preglednici 3*.

Iz rezultatov je razvidno, da z implementacijo variabilnega pogona znižamo emisijo hrupa, ki jo povzroča hidravlična črpalka. Vzrok za to je v kotu nagibne plošče črpalke. Za izpolnitev potreb delovne točke po tlaku ter pretoku klasični sistem vrtilni črpalko na nazivnih vrtiljajih, kot nagibne plošče je minimalen (skoraj ničelni pretok). V variabilnem sistemu pa so vrtiljaji gredi nižji, kot nagibne plošče je večji, kar pomeni nižjo pulzacijo pretoka, ki se odraža v tišjem delovanju.

**Preglednica 3** : Rezultati meritev hrupa hidravličnega pogonskega sklopa

Pogonski sklop	Povprečen hrup (dB)A	Maksimalen hrup (dB)A
Klasični	85,7	87,7
Variabilni	77,1	82,4

## 5 Zaključek

Vedno višje cene električne energije, predpisi in oza-veščenost nas vzpodbujajo v iskanje in razvoj tehnično dovršenih rešitev, s katerimi ohranjamo naravne vire ter zmanjšujemo porabo energije. Obravnavani koncept variabilnega hidravličnega pogona izpostavlja prednost uporabe takšnih sistemov, saj z implementacijo znižamo porabo energije, hrup ter generacijo toplote v hidravličnem sistemu. Donosnost sredstev investicije (angl. ROI) kaže, da se v povprečju investicija v takšen sistem vrne po nekaj letih uporabe.

### Viri

- [1] The Green Deal Industrial Plan, dostopno na naslovu [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan_en).
- [2] EU achieves 20-20-20 climate targets, 55 % emissions cut by 2030 reachable with more efforts and policies, dostopno na naslovu <https://www.eea.europa.eu/highlights/eu-achievements-20-20-20>.
- [3] For Machinery Makers, Green Tech Creates Green Business, dostopno na naslovu <https://web-assets.bcg.com/04/85/b6f771d-0444887c5c99895b3b448/bcg-for-machinery-makers-green-tech-creates-green-business-jul-2020.pdf>.
- [4] Study of Energy Efficiency Characteristics of a Hydraulic System Component, dostopno na naslovu <https://peer.asee.org/study-of-energy-efficiency-characteristics-of-a-hydraulic-system-component.pdf>.

## Increasing the energy efficiency of industrial hydraulic systems using variable drivetrains

### Abstract:

Sustainable development and the Green Deal are very important for preserving the natural environment and improving energy efficiency. This is closely linked to the manufacturers of machinery and equipment, including the manufacturers of hydraulic drives. As part of a public tender, a pilot project was carried out to find better designs for hydraulic drives. Most losses in the hydraulic system are caused by friction and internal leakage of the pump as well as pressure losses during flow. The article describes hydraulic drive systems with constant and variable flow, pumps with constant and variable displacement, their advantages, disadvantages and limitations. The limits of the use of asynchronous and servo-controlled electric motors are described. The implementation process and the most important results of the pilot project are described below. It was found that the more expensive hydraulic control systems amortise within a few years.

### Keywords:

Sustainable development, European Green Deal, energy efficiency, hydraulic systems, constant displacement, variable displacement, asynchronous electric motor, servo electric motor, frequency converter