

Modeliranje i analiza sustava hidrauličnog vitla

Čuperjani, Anton Martini

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:187035>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-09**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

doc. dr. sc. Mihael Čipek

Student:

Anton Martini Čuperjani

Zagreb, 2024.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 01	
Ur.broj: 15 – 24 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Anton Martini Čuperjani** JMBAG: **0035232441**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Modeliranje i analiza sustava hidrauličkog vitla**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Modelling and analysis of the hydraulic winch system**

Opis zadatka:

Hidraulički pogonjeno vitlo jedan je od važnijih alata na raznim gospodarskim vozilima. Jedan primjer je i vitlo na šumskim traktorima koje se koristi za privlačenje trupaca. Pogon vitla je uglavnom hidrostatički te se napaja hidrauličkom crpkom koju pogoni motor s unutarnjim izgaranjem. Kako bi se dobio uvid u rad vitla i mogućnosti poboljšanja sustava potrebno je izraditi matematički model vitla na temelju specifikacija od proizvođača te provesti analizu rada. U radu je potrebno:

- detaljno opisati hidraulički pogonjeno vitlo koje se koristi kod šumskog traktora
- izraditi matematički model jednog odabranog primjera vitla s tržišta
- prema opterećenju definirati potreban hidraulički pogonski agregat te predložiti modifikaciju pogona dodavanjem hidropneumatskog akumulatora
- provesti analizu rada hidrauličkog vitla sa i bez hidropneumatskog akumulatora
- na temelju dobivenih rezultata dati zaključak.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Mihael Cipek

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Damir Godić

Sadržaj

ZAVRŠNI ZADATAK	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
POPIS OZNAKA	8
SAŽETAK	10
1. UVOD	12
1.1. Traktorska vitla	12
1.2. Hidraulički sustav vitla	14
1.2.1. Hidraulički agregat	17
1.2.2. Viskoznost i stupanj korisnosti ulja	17
1.3. Zupčasta pumpa	20
1.3.1. Akumulatori	22
Akumulator s mijehom	23
2. PREGLED TRAKTORSKIH VITA DOSTUPNIH NA TRŽIŠTU	24
2.1 EGV 35A	24
2.2 Krpan 4.5 EH	25
2.3 Uniforest 2x65 G	26
3. MATEMATIČKI MODEL VITLA	30
3.1. Koeficijent trenja	30
3.2. Matematički model vitla	31
3.3. Simulacija vitla	33
3.4. Snaga	34
4. DIMENZIONIRANJE AKUMULATORA	39
4.1. Politropska promjena stanja	39
4.2. Izentropa	41
4.3. Rad akumulatora	42
4.4. Analiza volumena akumulatora	45
5. RAD VITLA SA ILI BEZ UKLJUČENOG HIDROPNEUMATSKOG AKUMULATORA AKUMULATORA	48
5.1. Potrošnja goriva	48
5.2. Izračun za slučaj pokretanja vitla	48
5.3. Diskusija	50

6. ZAKLJUČAK.....	51
7. LITERATURA.....	52
8. PRILOG.....	53
8.1. Model vitla ako je masa 6 tona:	53
8.2. Iznosi akumulatora	56
8.3. Istovremeno korištenje pumpe i akumulatora	57
8.4. Brzine, momenti o silama.....	59

POPIS SLIKA

Slika 1.1. Kardansko vratilo [2].....	13
Slika 1.2. Reduktor [3].....	13
Slika 1.3 Hidraulička schema sustava (modelirano u NetSkeme)	16
Slika 1.4. Dijagram utjecaja temperature na viskoznost [5]	18
Slika 1.5. Utjecaj tlaka na viskoznost [5]	19
Slika 1.6. Dijagram gubitaka i viskoznosti [5]	19
Slika 1.7. Zupčasta pumpa [6]	20
Slika 1.8. Stupanj korisnosti [6].....	21
Slika 1.9. Akumulator s mijehom [7].....	23
Slika 2.1. EGV 35A [8].....	24
Slika 2.2. Krpan 4.5 EH [9]	25
Slika 2.3. Uniforest 2X65 G [10].....	26
Slika 3.1. Kinematika vitla.....	32
Slika 3.2 Mehanički oblik trenja.....	32
Slika 3.3 Iznosi kod vitlanja 6 tona u odnosu na vrijeme	33
Slika 3.4 Iznosi brzine i Momenta za sile	34
Slika 3.5 (a) - Hidraulički agregat Quick attach [12], (b) Hidraulička schema agregata [17].....	35
Slika 3.6 A2FO [13].....	36
Slika 3.7. Hidromehanički gubici [5].....	37
Slika 4.1. Izentropska promjena [7].....	39
Slika 4.2. Proces i akumulatora kod različitih slučajeva	41
Slika 4.3. Adijabata	42
Slika 5.1 .Rad pumpe i akumulatora zajedno	49

POPIS TABLICA

Tablica 1.1 Vrste akumulatora [7].....	22
Tablica 2.1. Specifikacije [8]	24
Tablica 2.2 Tehničke karakteristike [9].....	25
Tablica 2.3. Specifikacije vitla [10]	28
Tablica 3.1. Tehničke specifikacije hidrauličkog agregata [12].....	36

POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
η_{vol}	-	Volumetrijska korisnost
η_{meh}	-	Mehanička korisnost
p	bar	Tlak
p_{max}	bar	Maksimalni tlak
n	okr/min	Brzina okretaja
n_{max}	okr/min	Maksimalna brzina okretaja
μ	-	Koeficijent trenja
μ_0	-	Koeficijent trenja pri nultoj brzini
v	m/s	Brzina
β	-	konstanta koja određuje brzinu opadanja
a_i	-	konstante
α	-	Konstanta opadanja
τ	Nm	Moment
J	kg m ²	Moment tromosti
α	Rad/s ²	Kutna akceleracija
ω	Rad/s	Kutna brzina
x	m	put
s	m	put
r	m	radijus
m	kg	masa
g	m/s ²	Gravitacijska konstanta
P	kW	Snaga

W	kJ	Rad
Q	L/min	Protok
t	s	Vrijeme
n	-	Eksponent politrope
p_0	bar	Tlak predpunjenja plina,
p_1	bar	minimalni radni tlak,
p_2	bar	maksimalni radni tlak,
p_3	bar	maksimalni tlak
V_0	L	volumen predpunjenja,
V_1	L	maksimalni volumen,
V_2	L	minimalni radni volumen,
V_3	L	minimalni volumen,
W_{12}	kJ	tehnički rad akumulatora.
κ	-	eksponent izentrope,
P_{motor}	kW	Snaga motora
η_{motor}	-	Učinkovitost motora
SFC	L/kWh	Specifična potrošnja goriva

SAŽETAK

Ovaj rad proučava hidrauličko vitlo šumskog traktora s fokusom na poboljšanja u radnoj učinkovitosti kroz uvođenje hidropneumatskog, odnosno hidrauličkog akumulatora. Nakon uvodnog opisa vitla, specifičnosti hidrauličkog vitla, opisa hidraulike, u radu se analiziraju ključni aspekti rada vitla kao što je trenje ovisno o brzini. Predložena modifikacija hidrauličkog sustava uključuje integraciju hidrauličkog akumulatora kao sredstva za pohranu energije. Objasnen je princip rada akumulatora, ističući njegovu ulogu u povećanju energetske učinkovitosti vitla. Potreban volumen hidrauličkog akumulatora određen je pomoću računalnog modela a rezultati simulacija pružaju uvid u rad vitla i daju učinke uvođenja hidrauličkog akumulatora u sustav. Rad kombinira teorijski pristup i simulacije pomoću programskog paketa MATLAB.

Ključne riječi: traktor, hidraulički akumulator, agregat, vitlo, računalni model

SUMMARY

This paper studies the hydraulic winch of a forest tractor with a focus on improvements in working efficiency through the introduction of a hydropneumatic or hydraulic accumulator. After the introductory description of the winch, the specifics of the hydraulic winch, the description of hydraulics, the paper analyzes the key aspects of winch operation such as speed-dependent friction. The proposed modification of the hydraulic system includes the integration of a hydraulic accumulator as a means of energy storage. The principle of operation of the accumulator is explained, highlighting its role in increasing the energy efficiency of the winch. The required volume of the hydraulic accumulator was determined using a computer model, and the results of the simulations provide insight into the operation of the winch and give the effects of introducing the hydraulic accumulator into the system. The work combines a theoretical approach and simulations using the MATLAB software package.

Keywords: tractor, hydraulic accumulator, aggregate, winch, computer model

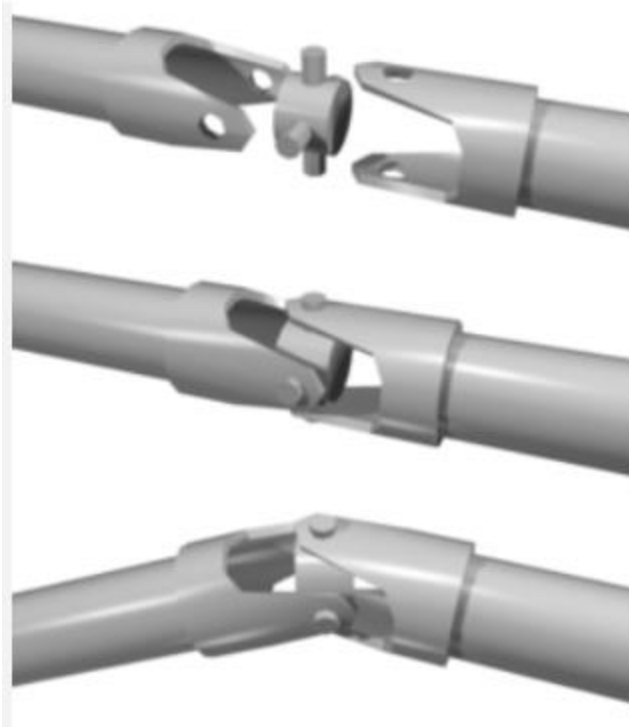
1. UVOD

Zbog sve većih cijena goriva, potaknutih inflacijom, postizanje uštede postaje ključan prioritet, osobito u poljoprivredi gdje troškovi goriva značajno utječu na ukupne operativne troškove. Traktori i poljoprivredna oprema koja se oslanja na hidrauličke sustave često rade pod velikim opterećenjem, što dodatno povećava potrošnju goriva. U tom kontekstu, istraživanje tehnologija koje mogu poboljšati učinkovitost rada traktora, poput hidropneumatskih akumulatora, postaje izuzetno važno. Ovi akumulatori mogu potencijalno smanjiti opterećenje motora, poboljšati performanse hidrauličkog sustava te time smanjiti ukupnu potrošnju goriva. Kroz bolje iskorištavanje energije, poljoprivrednici mogu ublažiti pritiske visokih troškova goriva i povećati svoju konkurentnost na tržištu, što je posebno važno u razdobljima ekonomske nestabilnosti.

Cilj ovog rada je saznati može li uvođenje hidropneumatskih akumulatora donijeti stvarne financijske uštede i povećati učinkovitost poljoprivrednih operacija.

1.1. Traktorska vitla

Traktorska vitla su uređaji koji se koriste za vuču drva ili drugih tereta u šumarstvu ili poljoprivredi. Ova vrsta vitla je obično montirana na traktor ili drugo vozilo s pogonom na kotače. Evo osnovnih principa kako traktorska vitla funkcioniraju. Traktorska vitla koriste snagu traktora za pogon vitla. Motor traktora pruža potrebnu snagu za pokretanje vitla, te se prijenos snage od motora do vitla obično postiže pomoću kardanskog vratila (cardan shaft) (slika 1) koje povezuje traktorski motor s vitlom. Reduktor (slika 2) se ugrađuje serijski, omogućuje sporiju vuču (traktor radi sa manje obrtaja). Također je omogućena i jednostavna zamjena pogonskog lanca. Upuštanje bubnja u rad se vrši pomoću trolamelne spojke velikog promjera [1] .



Slika 1.1. Kardansko vratilo [2]



Slika 1.2. Reduktor [3]

Traktorska vitla obično koriste tromblonski sistem za namotavanje užeta ili lanca. Tromblon je bubanj ili valjak oko kojeg se namotava užje. Kada se bubanj pokreće, užje se izvlači ili povlači. Na

traktorskim vitlima se obično koristi čelično uže ili lanac zbog njihovih komponenti a to su jaka čvrstoća i izdržljivost, što im omogućuje rukovanje teškim teretima.

Upravljački sustav vitla smješten je u vozačkoj kabini traktora. Vozač može kontrolirati smjer kretanja vitla, brzinu namotavanja i odmotavanja užeta ili lanca te druge funkcije. Ponekad se koriste hidraulički sustavi za kontrolu vitla jer omogućuju precizniju kontrolu. Uz to traktorska vitla često imaju sigurnosne značajke poput kočnica koje sprječavaju neočekivano odmotavanje užeta ili lanca. Također, neka vitla imaju ograničavajuće opterećenja kako bi spriječila preopterećenje sustava. Traktorska vitla se obično montiraju na stražnjoj strani traktora. Postoje različiti načini montaže, ovisno o modelu vitla i traktora. Podešavanje vitla, poput promjene visine montaže ili pravilnog podešavanja opterećenja, također je važno za optimalno funkcioniranje. Ovisno o modelu i proizvođaču, traktorska vitla mogu imati različite tehničke specifikacije i dodatne značajke koje ih prilagođavaju različitim zadacima i uvjetima rada [10].

1.2. Hidraulički sustav vitla

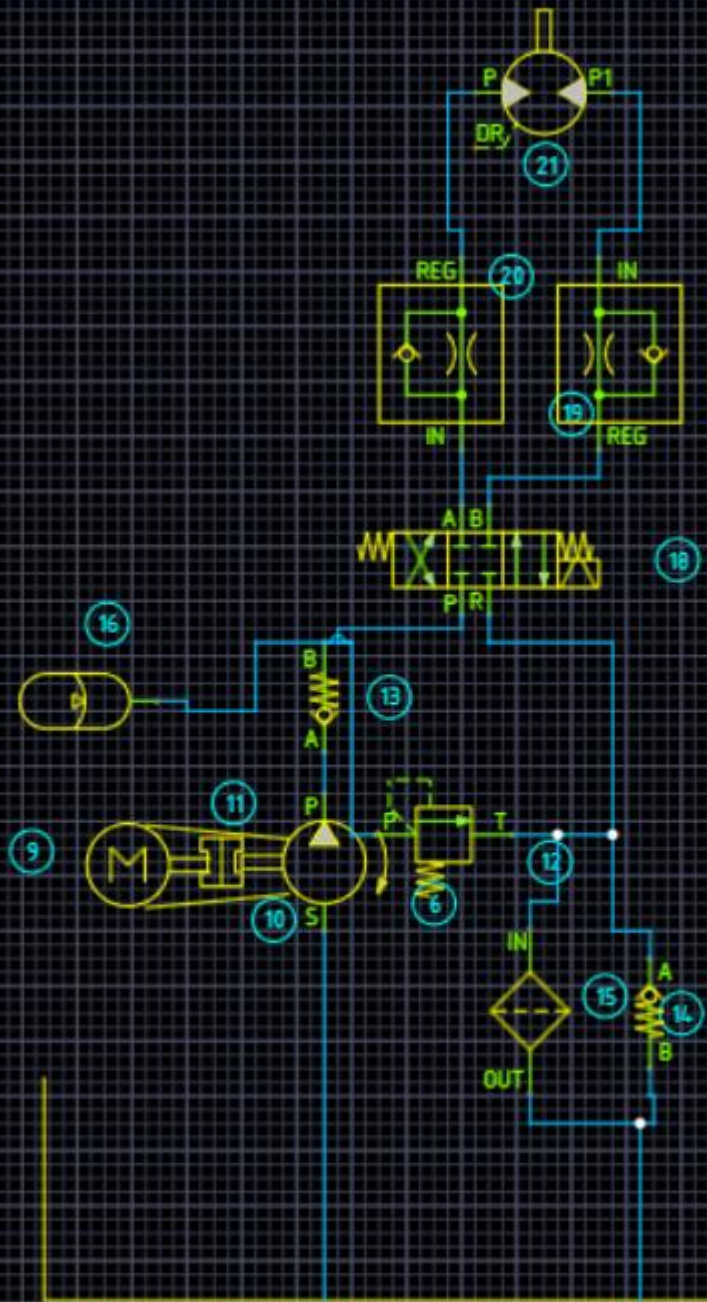
Razumijevanje hidraulike i pneumatike može biti ključno za mnoge tehničke sustave, uključujući strojeve, alate i industrijska postrojenja. Uzmimo, na primjer, hidraulički podizač u radionici. Ovaj podizač koristi hidraulički sustav za podizanje i spuštanje teških tereta, poput vozila. Hidraulički sustav koristi tekućinu (obično hidrauličko ulje) kao medij za prijenos energije. Kada se tekućina pumpa kroz cijevi i cilindre, stvara se pritisak, u ovom slučaju se potiskuju lopatice motora koje pretvaraju hidrauličku energiju u mehaničku energiju za pokretanje vitla. Hidraulički motor spojen s vitlom poprima pritisak i omogućuje mu povlačenje tereta.

Hidraulički sustavi su poznati po visokoj snazi i preciznosti. Mogu nositi teške terete s relativno malim cilindrima zbog velikog koeficijenta stlačivosti hidrauličke tekućine. Hidraulički sustavi obično pružaju veću snagu i preciznost u usporedbi s pneumatikom i mogu pružiti veću silu podizanja, dok pneumatski sustavi često imaju veću brzinu odgovora jer se zrak brže može stlačiti i otpustiti stoga, se hidraulika se često koristi tamo gdje je potrebna snažna, precizna i kontrolirana snaga, dok se pneumatski sustavi često koriste u bržim aplikacijama s manjim opterećenjima.

Ovaj primjer ilustrira kako hidraulika i pneumatika, iako dijele slične principe, imaju svoje specifičnosti i optimalne primjene ovisno o potrebama sustava. U traktorskim sustavima, hidraulika je ključna za izvođenje različitih funkcija, uključujući podizanje i spuštanje poljoprivrednih priključaka, upravljanje hidrauličkim alatima i kontrolu različitih hidrauličkih

komponentata na traktoru. Traktori često imaju ugrađene hidrauličke sustave koji koriste hidrauličku pumpu, spremnik za hidrauličku tekućinu (ulje) i razne ventile i cilindre koji se koriste za podizanje i spuštanje poljoprivrednih priključaka poput plugova, kultivatora, ili prikolica. Ventili na traktoru omogućuju kontrolu količine hidrauličke tekućine koja se šalje prema hidrauličkim cilindrima odgovornim za podizanje priključaka. Kada vozač traktora aktivira hidraulički sustav za podizanje, hidraulička pumpa počinje gurati hidrauličku tekućinu prema cilindrima te hidraulički cilindri odgovorni za podizanje priključaka primaju pritisak hidrauličke tekućine i izvode pokrete podizanja. Već spomenuto, zbog svoje precizne kontrole u podizanju i spuštanju hidraulički sustav je najbolji izbor, te vozač može prilagoditi visinu priključka prema potrebi. Hidraulički sustav traktora mora imati dovoljan pritisak i kapacitet za podizanje tereta koji može biti prilično težak, ovisno o vrsti priključka. Osim podizanja priključaka, hidraulički sustavi traktora mogu se koristiti i za upravljanje hidrauličkim kočnicama, kontrolu prednje i stražnje hidraulike, te za napajanje hidrauličkih alata poput utovarivača. Hidraulika u traktorskom sustavu omogućuje brzo i učinkovito upravljanje različitim zadacima na farmi ili polju, pružajući poljoprivrednicima visoku razinu kontrole i prilagodljivosti. Hidraulika igra ključnu ulogu u funkcioniranju traktorskog vitla, pružajući snagu i kontrolu za vuču tereta[4]. Hidraulička schema vitla je prikazana na slici 1.3.

Select second point



Slika 1.3 Hidraulička schema sustava (modelirano u NetSkeme)

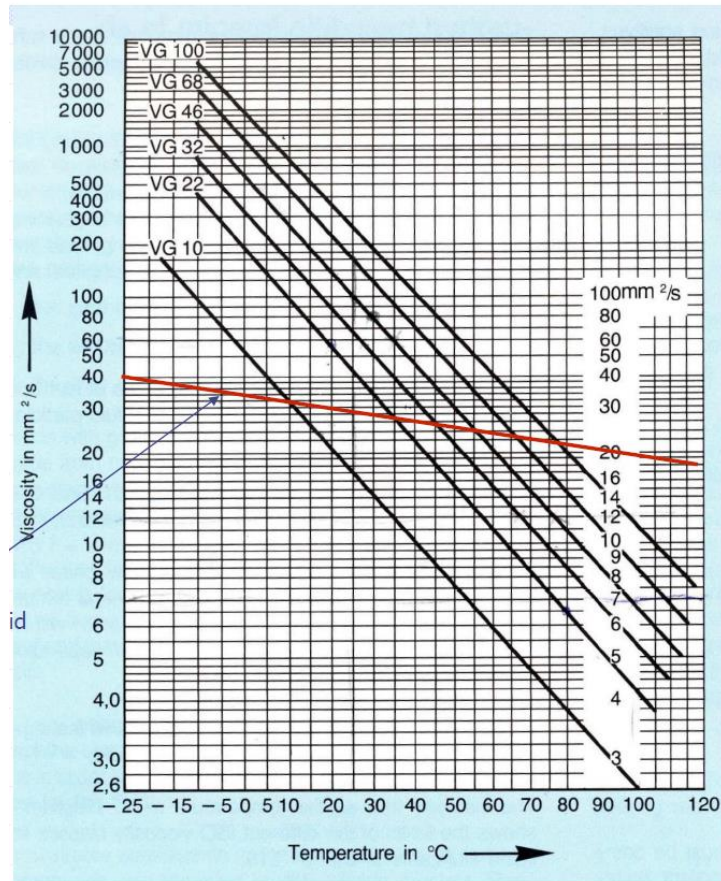
1.2.1. Hidraulički agregat

Hidraulički agregat je uređaj koji se koristi za generiranje i kontrolu hidrauličkog tlaka u hidrauličkom sistemu. Hidraulički sustavi koriste tečnost kao medij za prijenos energije i snage a hidraulički agregat je ključna komponenta ovih sustava. Glavna funkcija hidrauličkog agregata je generiranje hidrauličkog tlaka. Omogućuje pokretanje hidrauličkih cilindara, motora, ventila i drugih hidrauličkih komponenata.

Pumpa je glavna komponenta koja stvara hidraulički tlak ubrizgavanjem tekućine u hidraulički sustav te kasnije pokreće pumpu i pretvara mehaničku energiju u hidrauličku energiju. Ostatak tekućine, ako je tlak previsok, prolazi kroz sigurnosnog ventila koji kontrolira protok tekućine i smjer u hidrauličkom sustavu, te vraća tekućinu u rezervoar koji sprema taj isti fluid za ponovni rad. Funkcija rezervoara je skladištenje veće količine ulja u svrhu bržeg odvođenja topline iz sustava. Visoke temperature u sustavu nisu poželjne jer dolazi do pada viskoziteta radnog fluida i povećanja zazora između konstrukcijskih dijelova unutar hidrauličnih elemenata. Optimalna temperatura radnog fluida trebala bi se kretati u intervalu između 30 i 60 °C. Ako dolazi do pregrijavanje ulja i pada viskoziteta, povećava se protjecanje fluida iz komore visokog tlaka u komoru niskog tlaka, što predstavlja gubitke u sustavu. Također, visoke temperature fluida ubrzavaju proces oksidacije ili starenja fluida. Uz to su postavljeni filteri koji čiste hidrauličku tekućinu od nečistoća. Slika odabranog hidrauličkog agregata (a) je prikaza na slici 3.4 te također njegova hidraulična schema (b).

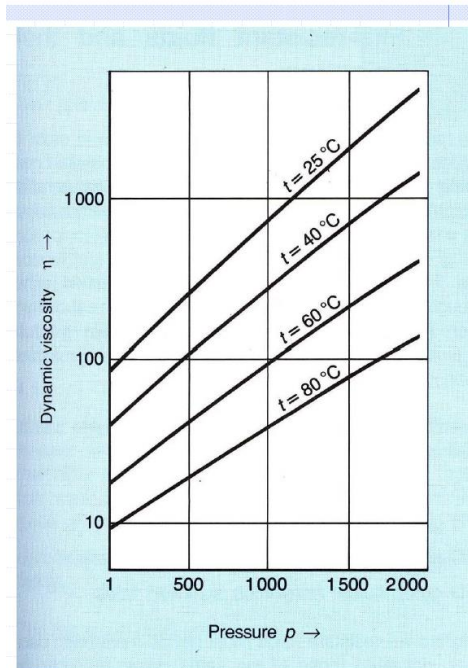
1.2.2. Viskoznost i stupanj korisnosti ulja

Na slici 1.4 prikazan je utjecaj temperature na viskoznost tj. otpor gibanju čestica na smično naprezanje, crvena linija je za zrakoplovni fluid. Na grafu su prikazane karakteristike različitih ulja i uočljivo je da porastom temperature pada indeks viskoznosti. Kako se viskoznost smanjuje, rezultat je niža volumetrijska učinkovitost, pregrijavanje i trošenje.

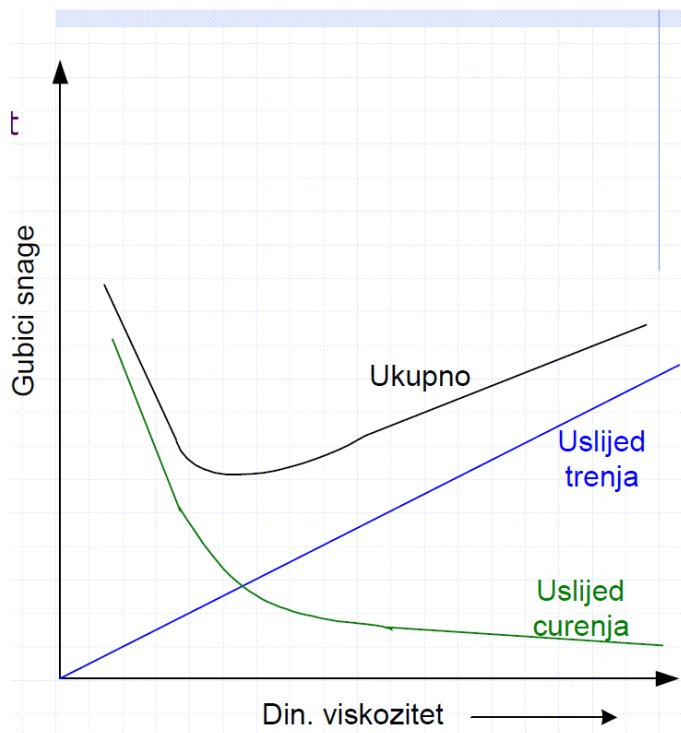


Slika 1.4. Dijagram utjecaja temperature na viskoznost [5]

Istovremeno, i porast tlaka utječe na dinamičku viskoznost h , porastom tlaka raste dinamička viskoznost čime ujedno raste kinematička viskoznost. Ukratko, fluid treba raditi u optimalnom polju gdje su volumetrijski, mehanički i sveukupni gubitci pri najmanjim iznosima.



Slika 1.5. Utjecaj tlaka na viskoznost [5]



Slika 1.6. Dijagram gubitaka i viskoznosti [5]

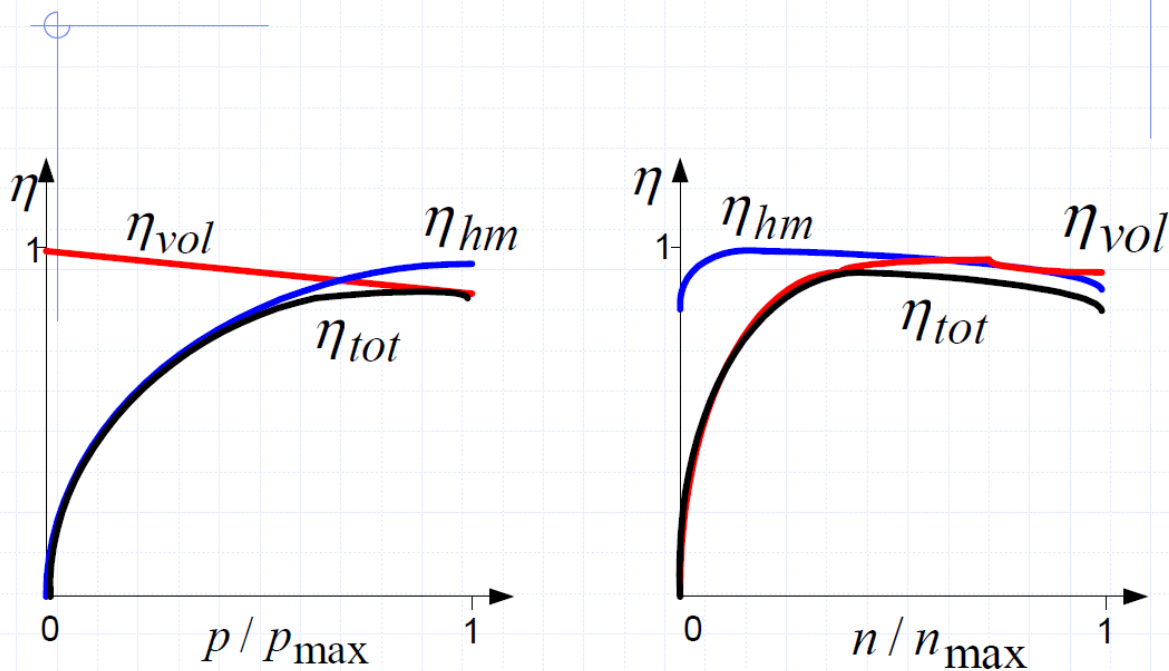
1.3. Zupčasta pumpa

U ovom hidrauličkom agregatu korištena je zupčasta pumpa s vanjskim ozubljenjem (slika 1.7.) zbog jednostavne i povoljne cijene, malog volumena, velike gustoće i snage. Zupčaste pumpe su robustne su, te pogodne za teške uvjete. Najšire je korištena crpka za jednostavnije zahtjeve u mobilnoj industriji.



Slika 1.7. Zupčasta pumpa [6]

Pumpe također imaju svoje volumetrijske, mehaničke i ukupne gubitke te stupanj korisnosti je približan iznosu jedan kada je omjer $p/p_{max} \approx 1$, ujedno i omjer broja okretaja $n/n_{max} \approx 1$.



Slika 1.8. Stupanj korisnosti [6]

U radu su stupnjevi korisnosti približno 0,88 za volumetrijsku učinkovitost a 0,9 za mehaničku.

Imamo tri vrste hidrauličnih agregata a za ovaj pokus koristi se dizelski hidraulični agregat. Električni hidraulički agregati pokreću se električnim motorima i često se koriste u industrijskim postrojenjima. Diesel hidraulički agregati su najbolji u situacijama gdje nema dostupnosti električne energije, kao što su mobilne ili udaljene aplikacije, primjerice za traktorsko vitlo u nekoj udaljenoj šumi. Manji benzinski agregati koriste se u prijenosnim alatima i sličnim primjenama. Agregati se primjenjuju u industrijske primjene kao što su automobilska industrija, strojarstvu, metalurgiji i drugim sektorima gdje je potrebna snažna i precizna hidraulička kontrola.

U građevinarstvu se koriste za pokretanje dizalica, betonskih pumpi, bagera i drugih građevinskih strojeva i mobilne primjene: u vozilima za hitne intervencije, poput vatrogasnih kamiona, ili u mobilnim sustavima za hidraulično podizanje tereta.

Redovito održavanje hidrauličkog agregata ključno je za produženje njegova vijeka trajanja. Sigurnosni ventili i sustavi osiguranja su važni za sprječavanje preopterećenja i oštećenja. Hidraulički agregati su neophodni u mnogim industrijama zbog svoje učinkovitosti, snažne snage

i precizne kontrole. Njihova primjena omogućuje izvođenje različitih radnji, od podizanja tereta do pokretanja složenih industrijskih procesa.

1.3.1. Akumulatori

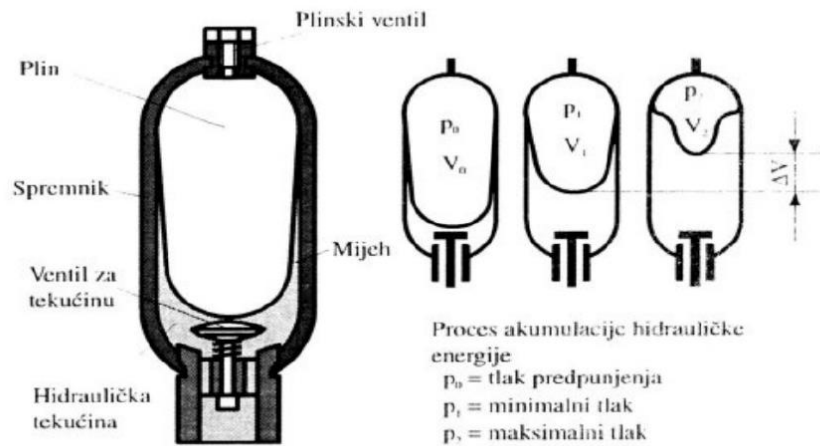
Akumulatori su grupa uređaja različitih konstruktivnih oblika, koji imaju zadatak akumulirati hidrauličku energiju ili određeni volumen fluida i osloboditi ih sustavu onda kada mu trebaju. Ostale zadaće akumulatora u hidrauličkom sustavu su ušteda energije, smanjenje kapaciteta pumpe (što nas zanima), prigušivanje hidrauličkih udara, smanjenje oscilacija tlaka. Hidraulički akumulatori se dijele na akumulator s utezima, s plinom i s oprugama. Hidraulički akumulatori s plinom se dijele na akumulator s klipom, s mijehom i s membranom. Hidraulički akumulator u ovom zadatku koristiti ćemo za akumuliranje nepotrebnog volumena fluida tijekom izvlačenja užeta za obavljanje procesa vitlanja trupca bez korištenja motora za pokretanje pumpe, kako bi uštedili energiju. U ovom slučaju ćemo koristiti akumulator s mijehom (slika 1.9) [7].

Tablica 1.1 Vrste akumulatora [7]

Klipni	Mmembranski		S mijehom	
	Zavareni	S navojem	v-tlačni	n-tlačni
	Do 3,5 L	Do 10L	Do 50 L	Do 450 L
Do 250 L	4-6 L/s	4-6 L/s	Do 40 L/s	Do 140 L/s
	Max protok		Max protok	
Max. Dozv. Brz. Klipa do 3,5 m/s	Do 210 bar	Do 400 bar	Do 550 bar	Do 35 bar
Do 350 bar	U zrakoplovima se dosta koriste			
Vertikalna ugradnja, Sporije reagiraju				

Akumulator s mijehom

Hidropneumatski akumulator s mijehom sastoji se od čelične posude ispunjene uljem u kojoj ulazi elastični mijeh prethodno ispunjen plinom. Plin se puni kroz gornji ventil a na donjem priključku za ulje je smješten tanjurasti ventil koji sprječava izlaz mijeha i štiti ga od oštećenja. Kada je tlak ulja veći od tlaka plina, ulje ulazi kroz tanjurasti ventil u akumulator te se smanjuje volumen mijeha a plin se komprimira. Apsolutni tlak predpunjenja mora iznositi između 70 % i 90 % minimalnog radnog tlaka p_1 , čime se sprječavaju moguća oštećenja[7].



Slika 1.9. Akumulator s mijehom [7]

2. PREGLED TRAKTORSKIH VITLA DOSTUPNIH NA TRŽIŠTU

U nastavku rada dan je pregled traktorskih vitla dostupnih na tržištu. Opisana su vitla s različitim snagama, namijenjene za traktore različitih snaga, veličine i sposobnosti.

2.1 EGV 35A



Slika 2.1. EGV 35A [8]

Tablica 2.1. Specifikacije [8]

Brzina kabla	0,63 – 1,19 m/s
Dužina kabla	55 m
Promjer kabla	11 mm
Ulazna brzina	540 RPM
Vučna sila	35 kN
Masa	127 kg
Omjer mjenjača	1:7,5
Potrebna snaga traktora	11-25 kW

2.2. Krpan 4.5 EH



Slika 2.2. Krpan 4.5 EH [9]

Krpan 4.5 EH ima patentirani hidraulički škripac sa stop prekidačem koji održava čelično uže od bubnja pod stalnom napetošću što omogućava jednakomjernije namotavanje na bubanj te patentirani pomično aksijalni lančanik koji se koristi pri pomoći izvlačenja na zahtjevnijim terenima. Vitlo koristi jedno-lamelnu sklopku s velikim promjerom za manje modele a za veće (6,5-9,5 EH) koristi tro-lamelnu sklopku. Ležaj je podmazani zatvoreni kuglični ležaj japanskog proizvođača „NSK“. Vučna sila je do 45 kN ili 4,5 tona sa srednjom brzinom žičanog užeta od 0,6 m/s. Vitlo se koristi na traktorima preporučljive snage od 35 do 45 kW [9].

Tablica 2.2 Tehničke karakteristike [9]

Vučna sila	4,5 t
Sila kočenja	56 kN
Srednja brzina žičanog užeta	0,6 m/s
Dužina užeta	130 m
Preporučljiva snaga traktora	35-40 kW
Širina	1415 mm
Dubina	490 mm

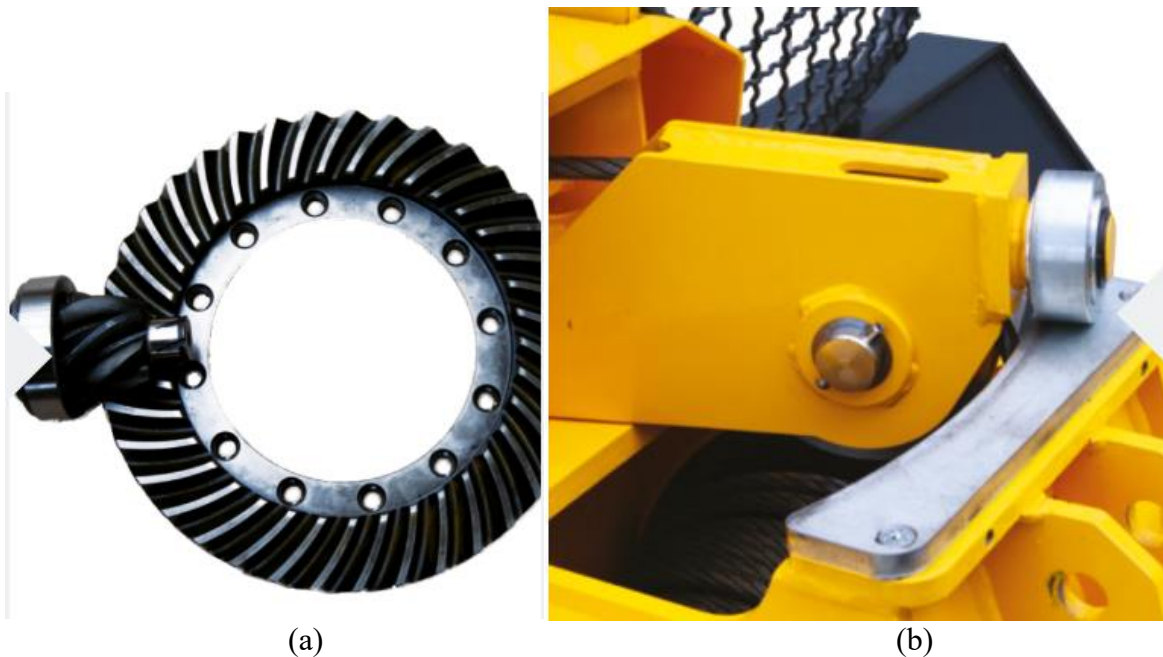
2.3. Uniforest 2x65 G



Slika 2.3. Uniforest 2X65 G [10]

Uniforest 2x65 G (slika 2.3.) je dvobubanjско vitlo koje posjeduje dva neovisna hidraulička sustava za svaki bubanj posebno.

Ono što je specifično za ovo vitlo, za razliku od ostalih, je to da se umjesto lančanog prijenosnika prijenos snage s kardanskog vratila traktora obavlja preko konusnih spiralnih i čeonih zupčanika (slika 2.4.). Također, ovo vitlo ima posebno izvedenu vodilicu za precizno namotavanje žičanog užeta na bubanj. Vodilica je prikazana na slici 2.4.



Slika 2.4. Konusni spiralni zupčanik (a), Vodilica za precizno namotavanje (b) [10]

Snaga se pomoću konusnih spiralnih i čeonih zupčanika, preko lančane veze, prenosi na bubanj. Bubanj se upušta u rad preko hidrauličke lamelne spojke. Nakon što se trupac izvuče, odmotavanje pod djelovanjem težine trupca se sprječava aktiviranjem hidrauličkog cilindra pojasne kočnice. Kako bi se olakšalo odmatanje žičanog užeta može se odabrati vitlo s ugrađenom napravom za odmatanje (slika 2.5.). Takvo vitlo također pruža napon žičanog užeta između odvijčača i bubnja i tako dalje sprječava oštećenja i omogućuje veću trajnost.

AUTO STOP (konačni prekidač) automatski isključuje vučnu funkciju vučne užadi na bubnju. Ova značajka sprječava mehaničko oštećenje uređaja za odmatanje i vučnog užeta.



Slika 2.5. Naprava za odmotavanje [10]

Tablica 2.3. Specifikacije vitla [10]

Vučna sila (max.)	65 kN
Vučna sila (min.)	40 kN
Srednja brzina žičanog užeta	0,65 m/s
Standardna dužina žičanog užeta / Promjer žičanog užeta	90 m/12 mm
Dužina žičanog užeta / Promjer žičanog užeta	130 m/12 mm 160 m/11 mm
Preporučena snaga traktora	74 kW 100 KS
Max. broj okretaja kardanskog vratila	750 o/min
Širina	1920 mm
Širina (hidraulički kontrolirana stražnja ploča-opcija)	2100 mm
Dubina	840 mm
Visina sa zaštitno mrežom	2300 mm
Visina bez zaštitne mreže	1500 mm
Masa bez žičanog užeta: 1920 mm/2100 mm	900 kg/980 kg
Pritisak ulja	110 – 150 bar
Uređaj za odmotavanje	serijski
Masa bubnja	20 kg
Promjer bubnja	180mm
Širina bubnja	160 mm

U navedenom slučaju se primjerice za masu od 6000 kg treba izračunati koliki bi bio volumen akumulatora za obavljanje rada, gdje se 6 tona mora vući 100 metara po zemlji u nekoj šumi. Za

to je potreban rad koji će biti jednak umnošku brzine povlačenja i sile trenja koju vitlo mora savladati.

3. MATEMATIČKI MODEL VITLA

U nastavku rada je dano modeliranje trenja dinamike vitlanja te izračun hidrauličke snage.

3.1. Koeficijent trenja

U uvjetima ravnoteže klizanja, blok ostaje nepomičan, a donja površina se kreće konstantnom brzinom. Tijekom klizanja, koeficijent kinetičkog trenja μ_k , može varirati s brzinom. Zapravo, mora biti niži od statičke vrijednosti ako se žele pojaviti vibracije s prijanjanjem i proklizavanjem. Harmoničke oscilacije se ponekad opažaju pri velikim brzinama klizanja. Njihovo je obilježje to da kretanje bloka ostaje blisko jednostavnom harmonijskom titranju. Za ovaj oblik osciliranja, nagib krivulja μ_k u odnosu na brzinu pri brzini klizanja mora biti negativan. U razmatranom trenutku, ako se blok kreće udesno brzinom x' i donja površina se kreće brzinom v , brzina donje površine u odnosu na blok je $v_r = v - x'$. Predloženo je nekoliko empirijskih modela za povezivanje μ_k s brzinom, poput linearnog, eksponencijalne formule ili polinomne brzine [11].

Koeficijent trenja (μ) koji varira s brzinom (v) može se predstaviti različitim modelima ovisno o kontekstu i vrsti trenja (npr. suho, podmazano ili kotrljajuće trenje). Jedan od često korištenih empirijskih modela za suho trenje, gdje koeficijent trenja opada s povećanjem brzine, je eksponencijalni model. Opći oblik ovog modela je:

$$\mu(v) = \mu_0 e^{-\alpha v} \quad (3.1)$$

gdje je $\mu(v)$ koeficijent trenja pri brzini, μ_0 je koeficijent trenja pri nultoj brzini (koeficijent statičkog trenja), α je konstanta koja određuje koliko brzo koeficijent trenja opada s brzinom, v je relativna brzina između površina.

Ovaj model obuhvaća uobičajeno opažanje da koeficijent trenja opada eksponencijalno s povećanjem brzine, što može biti posljedica čimbenika kao što su promjene temperature površine, ponašanje maziva ili promjene kontaktnog područja.

Za složenije ili specifične slučajeve mogu se koristiti i drugi modeli, kao što su:

Model linearnog opadanja:

$$\mu(v) = \mu_0 - \beta v \quad (3.2)$$

Ovdje je β konstanta koja određuje brzinu opadanja.

Polinomski model:

$$\mu(\vartheta) = \mu_0 + a_1 v + a_2 v^2 \quad (3.3)$$

Ovaj model omogućava veću fleksibilnost u prilagodbi eksperimentalnih podataka, gdje su a_1, a_2, \dots konstante.

Model potencijske funkcije:

$$\mu(\vartheta) = \mu_0 \vartheta^{-\gamma} \quad (3.4)$$

gdje je γ konstanta. Ovaj model se može koristiti kada trenje opada strmije s brzinom.

Izbor modela ovisi o eksperimentalnim podacima i specifičnom ponašanju površina u kontaktu. Za praktične primjene, često su potrebni empirijski podaci kako bi se odredile odgovarajuće konstante ($\alpha, \beta, a_1, a_2, \gamma, \alpha, \beta, a_1, a_2, \gamma$, itd.) za specifične površine i uvjete [11].

3.2. Matematički model vitla

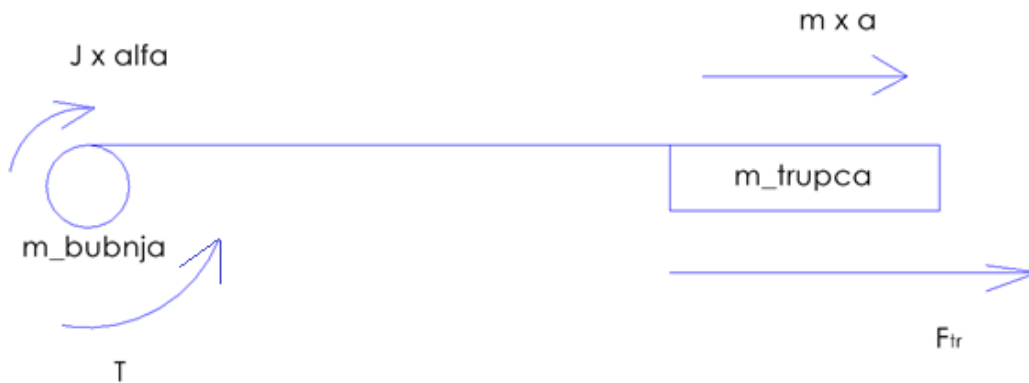
Hidraulički motor mora savladati moment tromosti i silu koju povlači zbog mase nekog objekta. Za ovaj primjer gleda se objekt koji se povlači po horizontalnoj površini, masa užeta je zanemariva. U ovom sustavu je uključen kvocijent trenja koji se mijenja ovisno o brzini.

$$\tau = J \cdot \alpha + F \cdot r \quad (3.5)$$

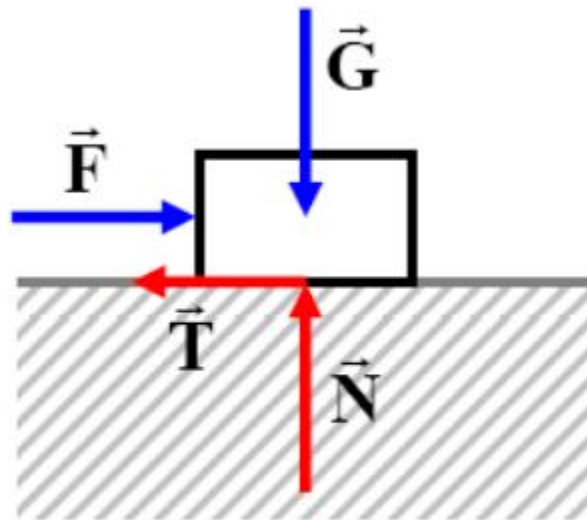
$$F = m \cdot \ddot{x} + \mu \cdot \dot{x} \quad (3.6)$$

$$J \cdot \frac{\ddot{x}}{r} + (m \cdot \ddot{x} + \mu \cdot m \cdot g) \cdot r = \tau \quad (3.7)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{\mu \cdot r}{J + m \cdot r} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{J + m \cdot r} \end{bmatrix} \tau \quad (3.8)$$



Slika 3.1. Dinamika vitlanja



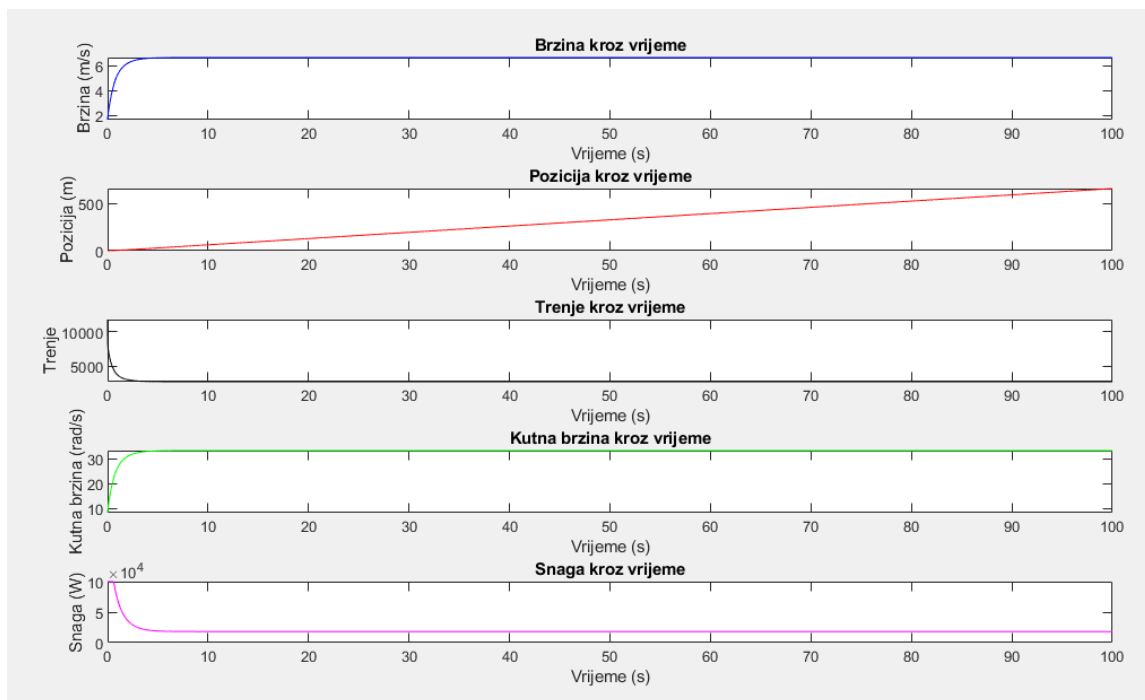
Slika 3.2 Mehanički oblik trenja

$$W = m \times g \times \mu \times s \tag{3.9}$$

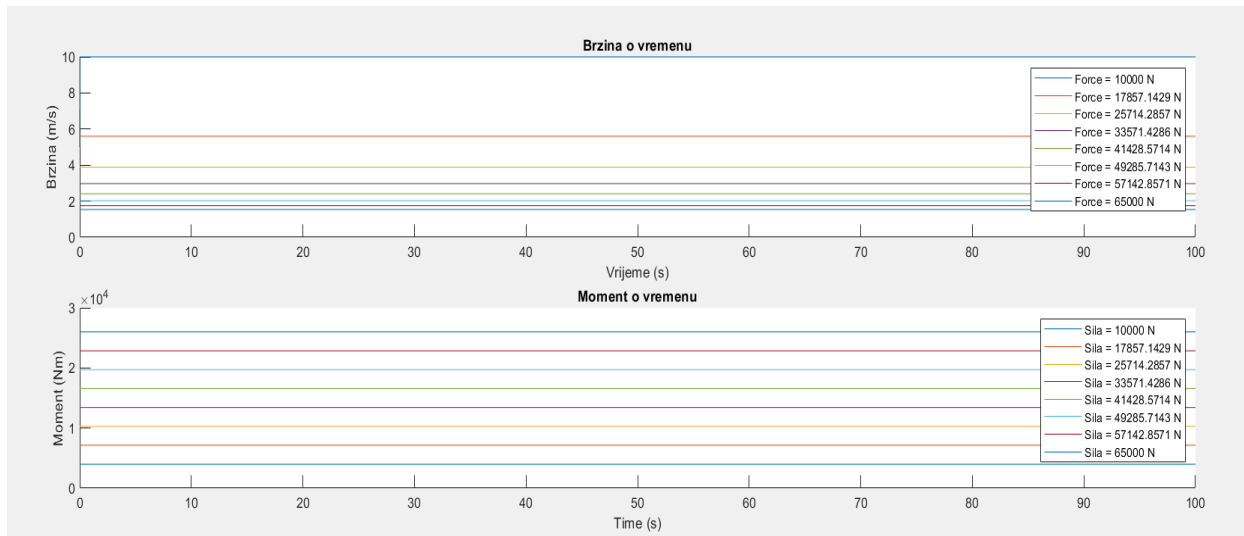
gdje je g gravitacijska konstanta, s je put koji iznosi 100 metara, m masa tereta i kvocijent trenja 0,173 za srednju brzinu od 0,65 ms/s.

3.3. Simulacija vitla

U slijedećim grafovima su rezultati za odnose snage brzine ako je objekt trupac koji ima masu 6 tona i vuče ga motor od 100 kW. Graf prikazuje kako se smanjuje potrebna snaga vitla tj. hidrauličkog agregata ako je potrebna neka određena brzina, primjerice kada je željena brzina 5 m/s, pomoću PID regulatora brzina iznosi malo više od željene, tj. iznosi 6,72 m/s ali pomoću prilagođavanja se mogu dobiti željeni iznosi (slika 3.3), dok snaga iznosi 11 kW. U slučaju nagiba, tj. kosine, manja je normalna sila ali se pojavljuje gravitacijska komponenta. Na drugom grafu su iznosi brzina pri silama mnogo većim od ovog primjera jer vitlo podržava sile do 60 kN. Veliki iznosi nisu potrebni jer bi za ovaj zadatak akumulator bio nepraktičan zbog veličine ali je dobra informacija da nema trenja već vitlo diže neko trupce vertikalno te mora savladati gravitaciju (slika 3.4).



Slika 3.3 Iznosi kod vitlanja 6 tona u odnosu na vrijeme



Slika 3.4 Iznosi brzine i Momenta za sile

3.4. Snaga

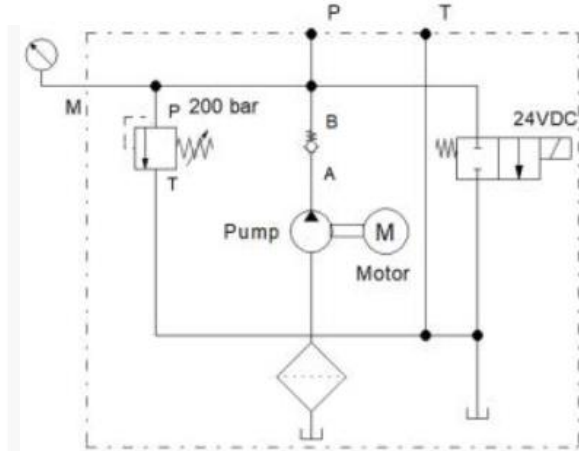
S obzirom da vitlo ima maksimalni broj okretaja 750 o/min a srednja brzina žičanog kabla je 0,65 m/s, ono mora savladati silu trenja koja je jednaka težini umnoženoj faktorom trenja μ , iznoseći približno 0,1734. Snaga koju dizelski motor mora predati hidrauličkom vitlu može se izračunati prema:

$$P = \frac{mg(\sin\alpha + \mu\cos\alpha) \cdot v}{0,89} \quad (3.10)$$

Gdje je m masa tereta, g gravitacijska konstanta i iznosi 9,81 m/s, kvocijent trenja između drva i zemlje iznosi 0,1734 gdje je α nagib kosine ali se u ovom radu uzima da je površina horizontalna tako da je jednaka 0.



(a)



(b)

Slika 3.5 (a) - Hidraulički agregat Quick attach [12], (b) Hidraulička schema agregata [17]

Kao agregat za pogon vitla je odabran agregat HP 35 (slika 3.4). To je industrijski dizajnirana pomocna hidraulicka jedinica koja se prikljucuje u tri tocke te omogucuje upravljanje pomocu traktorskih hidraulickih prikljucaka koji uglavnom nemaju dovoljnu snagu za pokretanje vitla. Ta dodatna jedinica omogucuje napajanje vitla dovoljnim protokom ulja te dovoljnom hidraulickom snagom. Model HP 35 najbolji je izbor jer je podešen za motore koji proizvode 74,5 kW, kao u slučaju našeg vitla. Specifikacije su u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Tehničke specifikacije hidrauličkog agregata [12]

Model	HP35
Preporučena snaga	80-150 HP / 60-112 kW
Max. tlak	275.790292 bar
Okretaji pumpe	540 o/min
Protok	132 L/min
Tip pumpe	Zupčasta pumpa
Rezervoar	124 L
Masa	320 kg

Snaga pumpe nije dovoljna za ovaj projekt, odnosno, pumpa ne proizvodi dovoljno visoki tlak i agregat je potrebno nadograditi jačom pumpom čiji je maksimalni tlak 450 bara. Izabrana je pumpa A2FO tvrtke Heash (slika 3.5.) koja proizvodi maksimalni tlak od 450 bara.



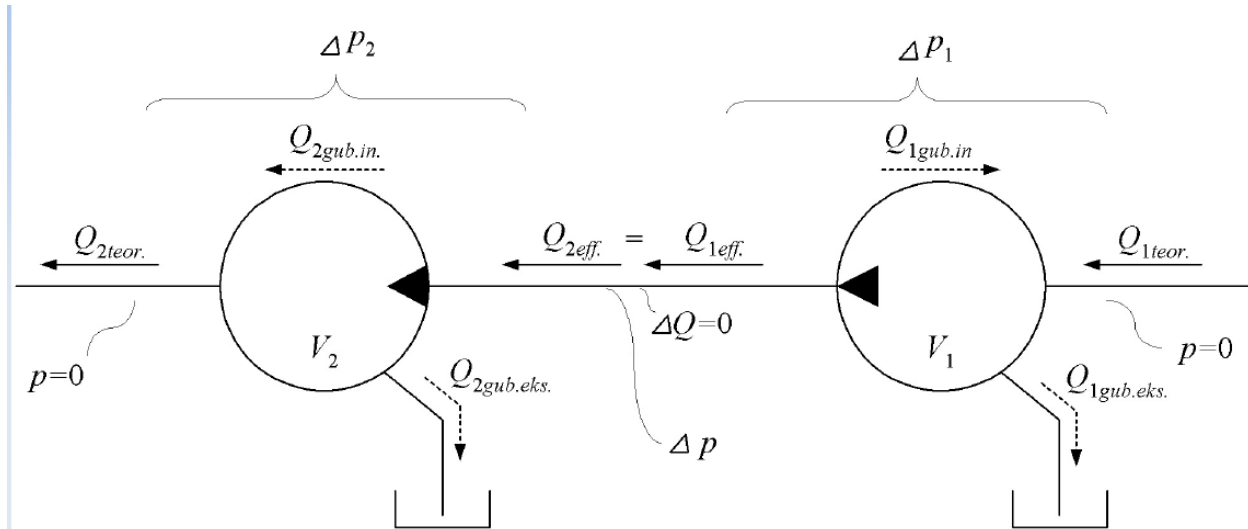
Slika 3.6 A2FO [13]

Snaga pumpe se može jednostavno izračunati preko formule za snagu fluida.

$$P = Q \times p \quad (3.11)$$

gdje je Q protok L/min, a p tlak pumpe.

Snaga pumpe iznosi 60,5 kW. Ovim iznosom se mogu povlačiti i iznosi mase veći od 8 tona (pa i više), a svakako se moraju razmotriti i gubici tijekom pretvaranja hidrauličke energije u mehanički rad. Tijekom procesa odvijaju se dvije vrste gubitaka. Prvi su volumetrijski a čiji gubici mogu biti interni (primjerice curenje fluida unutar komponente, curenje među komorama) i eksterni (curenje fluida u okolinu). Hidromehanički gubici označavaju trenje fluida u cijevima.



Slika 3.7. Hidromehanički gubici [5]

Tijekom procesa vitlanja tereta se sajla prvo mora izvaditi na određenoj udaljenosti. Ako tijekom vađenja sajle agregat radi pri maksimalnom tlaku i pri najvećoj brzini vrtnje, jednako će biti veći protok fluida. Međutim, za ovaj proces nije potrebna snaga kao za povlačenje, jer radnik pridržava sajlu i motoru je potrebno prenijeti moment za savladavanje momenta tromosti bubnja vitla. Ako je srednja brzina još uvijek 0,65 m/s i moramo povući 100 metara žičanog užeta, za taj proces će potrebne 153 sekunde. Tromost valjka izražavamo formulom

$$J=0,5 \times m \times r^2 \quad (3.12)$$

$$T=J \times \frac{\omega}{\Delta t} \quad (3.13)$$

Ako je vrijeme ubrzavanja 2 sekunde i radijalna brzina jednaka 7,11 rad/s, masa 20 kg i radijus 90 mm, moment koji se mora prenijeti na bubanj vitla iznosi 0.29 Nm. Dok se izvlači uže, protok koji pumpa prenosi je uvelike nepotreban za izvlačenje sajle, a protok koji se preko sigurnosnog ventila

vraća u rezervoar bi mogao puniti hidropneumatski akumulator koji bi se kasnije koristio za povlačenja tereta. U teoriji, cijeli rezervoar agregata bi se mogao prenijeti u akumulator i prilikom korištenja vitla pumpa ne bi morala obavljati rad.

4. DIMENZIONIRANJE AKUMULATORA

Pohranjena hidraulička energija je volumen fluida koji ulazi u neki prostor, a da pri tome ostane pod tlakom, kako je fluid tesko stlačiv za pohranu energije koristi se opruga, plin ili teret ako se radi o gravitacijskom akumulatoru. Kod plinskih akumulatora

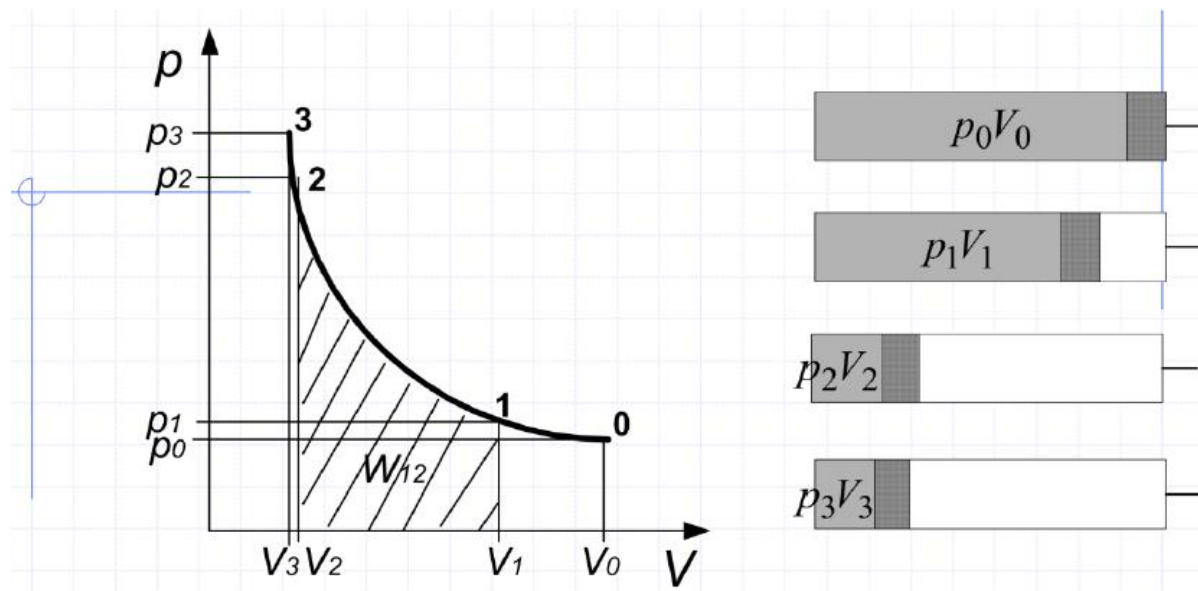
4.1. Politropska promjena stanja

Promjena stanja plina u hidropneumatskim akumulatorima opisuje se politropskom promjenom:

$$pV^n = konst \quad (4.1)$$

gdje je n eksponent politrope, p apsolutni tlak plina, a V apsolutni volumen plina.

S obzirom da je u ovom procesu brza promjena volumena i nema izmjene topline s okolinom, govorimo o izentropskoj promjeni stanja gdje je eksponent politrope jedan k , koji za zrak i dušik iznosi 1,4. Procesi promjene stanja plina koji traju dulje od jedne minute često se u praksi opisuju kao izentropski dok se oni kraći od minute opisuju kao adijabatski.



Slika 4.1. Izentropska promjena [7]

Vrijednosti sa slike su kako slijedi:

p_0 – tlak predpunjenja plina, uobicajeno je $0,9 p_1$

p_1 – minimalni radni tlak,

p_2 – maksimalni radni tlak,

p_3 – maksimalni tlak,

V_0 – volumen predpunjenja,

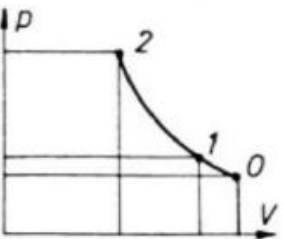
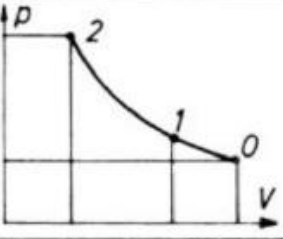
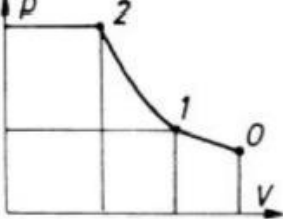
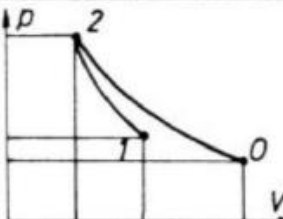
V_1 – maksimalni volumen,

V_2 – minimalni radni volumen,

V_3 – minimalni volumen,

W_{12} – tehnički rad akumulatora.

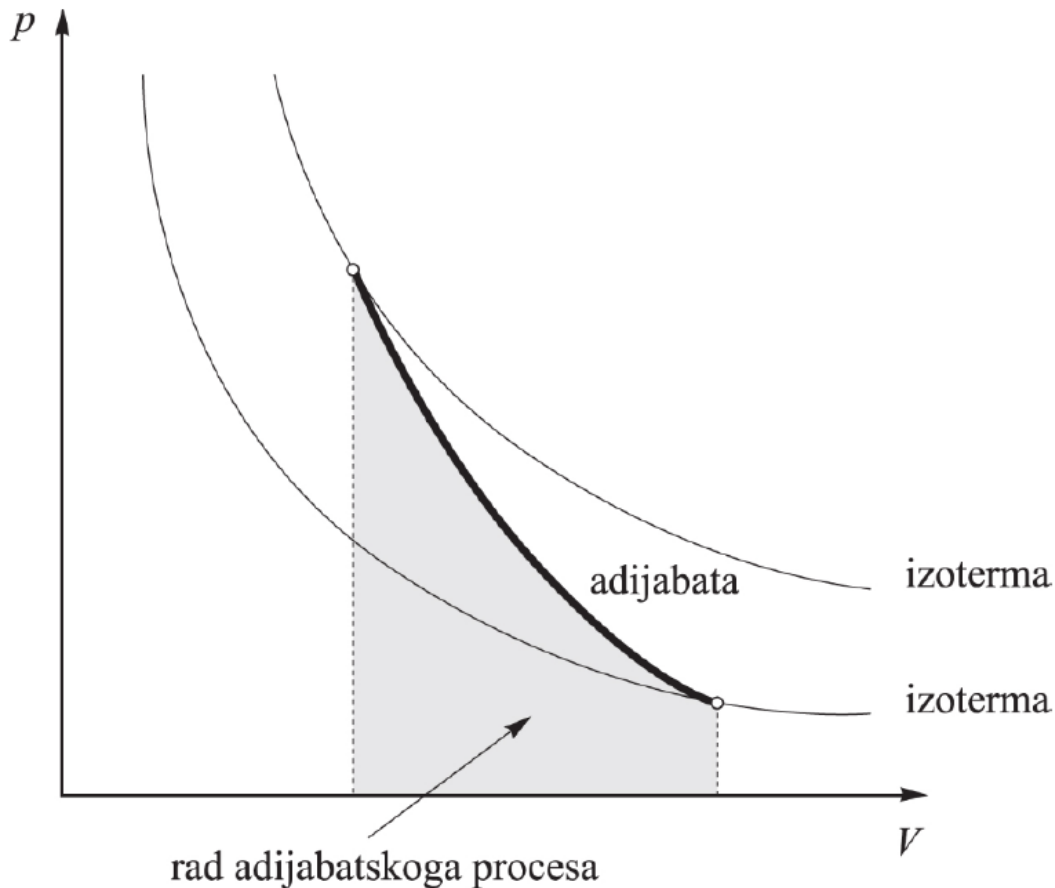
Ovisno o primjeni hidropneumatskog akumulatora opisane su promjene stanja plina između radnih točaka. Promjene se prema primjeni mogu odrediti za slučajeve kada se akumulator koristi za akumuliranje energije.

	<i>Proces</i>	<i>Kriterij upotrebe</i>
	<i>0→1</i> adiabatsko punjenje <i>1↔2</i> adiabatski proces	<i>Kod akumuliranja energije</i> $p_0 = 0,9 p_1$ $p_2 = 2 p_1$ $\Delta V = 0,362 V_0$
	<i>0→1↔2</i> izotermički proces	<i>Kompenzacija izgubljenog ulja</i> $p_0 = 0,9 p_1$ $p_2 = 2 p_1$ $\Delta V = 0,45 V_0$
	<i>0→1</i> izotermički punjenje <i>1↔2</i> adiabatski proces	<i>Opružni sistem kod vozila</i> $p_0 = 0,9 p_1$ $p_2 = 2 p_1$ $\Delta V = 0,351 V_0$
	<i>0→1</i> izotermički proces <i>2→1</i> adiabatski proces	<i>Sigurnosna funkcija</i> $p_0 = 0,9 p_1$ $p_2 = 2 p_1$ $\Delta V = 0,288 V_0$

Slika 4.2. Procesi akumulatora kod različitih slučajeva [7].

4.2. Izentropa

Kao što je u prošlom poglavlju rečeno, izentropa je proces u termodinamici kada nema izmjene topline s okolinom. Tijekom izentropskog procesa entropija sustava ostaje konstantna, te je ujedno i reverzibilan stoga se izentropa ujedno naziva i ravnotežnom adijabatom [14]. U izraz politrope (br.4.1) uvrštava se eksponent $n=k$.



Slika 4.3. Adijabata [14]

4.3. Rad akumulatora

Kako bi se izračunalo koliki volumen akumulator treba predati sustavu, mora se saznati koliki iznos energije akumulator mora predati u sustav. Pošto se sva energija koju hidraulički akumulator s plinom predaje sustavu pohranjuje u samom plinu pod tlakom, potrebno je odrediti koja je promjena stanja plina u pitanju.

Prema tablici 5 kriterija upotrebe hidropneumatskih akumulatora vidljivo je da se za potrebu akumuliranja energije promjena stanja plina, kako od točke predpunjenja do radne točke s minimalnim radnim tlakom, tako i do točke s maksimalnim radnim tlakom, odvija adijabatski.

Izraz prema kojemu se računa tehnički rad adijabatske promjene je kako slijedi:

$$W_{\text{teh}} = k \frac{p_2 V_2}{K-1} \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (4.2)$$

Prema ovom izrazu moguće je izračunati iznos minimalnog radnog volumena ako je pored rada poznat potreban eksponent izentropije, minimalni radni tlak i maksimalni radni tlak.

Pošto se u hidrauličkim akumulatorima kao radni medij koristi dušik, iznos eksponenta izentropije iznosi $\kappa = 1,4$ [14].

Za određivanje tlakova između kojih sustav radi u hidropneumatskom akumulatoru uzimaju se veličine koje se koriste pri konvencionalnom pogonu hidrauličkog vitla. Prema tome hidraulička pumpa koju pokreće motor s unutarnjim izgaranjem daje tlakove u sustavu ovisno o broju okretaja motora. Tako hidraulička pumpa pri različitim uvjetima daje radne tlakove između 250 i 450 bara. Minimalni radni tlak akumulatora zbog toga iznosi $p_1 = 110$ bar, a maksimalni radni tlak iznosi $p_2 = 420$ bar.

Nakon što je određen minimalni radni volumen, maksimalni radni volumen računamo formulom koristeći izraz adijabatske promjene:

$$V_1 = V_2 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1/\kappa} \quad (4.3)$$

Kada su oba volumena plina izračunata, možemo dobiti njihovu razliku.

$$\Delta V = V_1 - V_2 \quad (4.4)$$

Tlak predpunjenja ćemo fiksirati pri iznosu od $0,9p_1$ i sve te izraze možemo uvrstiti u formulu za izračunavanje potrebnog volumena hidrauličkog akumulatora. Potreban volumen hidrauličkog akumulatora, označen kao V_0 , određuje se koristeći tlak predpunjenja p_0 , minimalni radni tlak p_1 , maksimalni radni tlak p_2 , eksponent izentropije κ i promjenu volumena plina u akumulatoru ΔV [14].

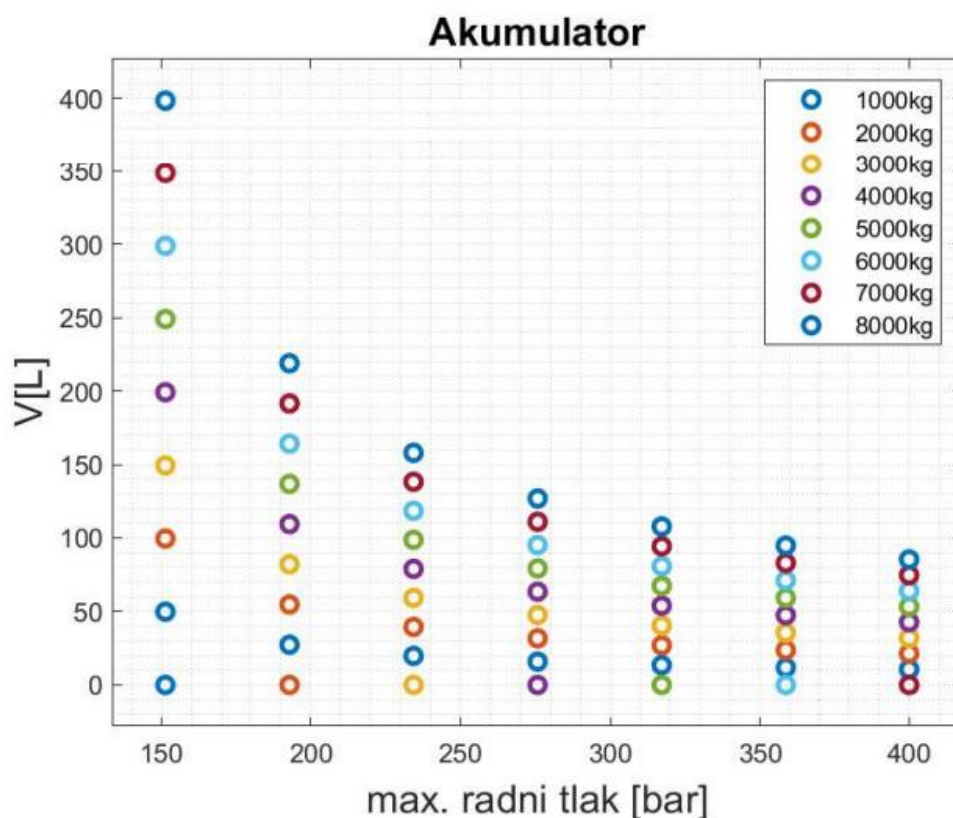
$$V_0 = \frac{\Delta V}{\left[\left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{1/\kappa} - \left(\frac{p_0}{p_2}\right)^{1/\kappa}\right]} \quad (4.5)$$

Iako je korištenjem stalka s akumulatorima moguće zadovoljiti potrebe vitla, ovakav veliki dodatni volumen neprikladan je za montažu na skider. Nadalje, pošto su kućišta hidrauličkih akumulatora izvedena od čelika, značajno bi povećali masu skidera zajedno s uljem koje također nema zanemarivu masu. Iz ovog je razloga, prije bilo kakve implementacije akumulatora, potrebno provesti analize kako bi se utvrdilo na koji način nova opterećenja utječu na ostale aspekte rada skidera .

Izračunatom silom trenja preko izraza 3.9. ovom će slučaju rad iznositi 1023 kJ koji je jednak radu koji mora obaviti hidropneumatski akumulator pri određenom tlaku kako bi vitlo obavilo zadatak bez korištenja dizelskog motora traktora te tako uštedio iznos goriva koji je od velikog značaja pri nekim radovima u udaljenim dijelovima šume, daleko od kampa a radnicima osigurava mirniji rad bez potrebe razmišljanja o opskrbi goriva.

4.4. Analiza volumena akumulatora

U matlabu je za istu duljinu sajle dobili podatke za različite mase trupaca pri različitim maksimalnim radnim tlakovima koji su u razmaku od 110 bara do 450 bara hidropneumatskog akumulatora. Rezultati su prikazani na slici 4.4.



Slika 4.4. Iznosi volumena akumulatora pri srednjoj brzini

Kako bi se odredio iznos akumulatora, potrebno je odabrati najznačajniji ciklus, a to je onaj u kojem je utrošeno najviše energije. Prema tome je izabran ciklus od 6 tona. U ovom slučaju ukupno utrošena energija u ciklusu 1023 kJ.

Izjednačavanjem utrošene energije vitlanja W_v s tehničkim radom W_{teh} i pokretanjem simulacije, potreban volumen akumulatora pri minimalnom radnom tlaku od 110 bara iznosi $V_0 = 0,2559 \text{ m}^3$, tj. $V_0 = 255,9 \text{ L}$, no kada je akumulator pri maksimalnom tlaku iznosi uveliko manje. Volumen akumulatora bi iznosio 0.065 metra kvadratna, odnosno 65 L.

Jer se za izračun koristila srednja brzina pomoću grafa 3.2 možemo dobiti brzine za svaku od masa. Rezultat toga je da je kvocijent trenja mnogo manji te je potrebno mnogo manje volumena za odraditi rad nego prije rezultati su prikazani na grafu u prilogu (slika 4.6).

Usporedbom rezultata s tablicom 2.1 osnovnih značajki plinskih akumulatora vidljivo je da se prema volumenu može odabrati n-tlačni akumulator s mijehom koji može imati volumen do 450 L. Ipak, pogleda li se maksimalni tlak od 35 bara, zaključuje se da ova vrsta akumulatora nije pogodna. V-tlačni akumulator s mijehom ipak podržava ove visoke tlakove no maksimalni volumen ove vrste akumulatora iznosi 50 L.

Membranski hidropneumatski akumulatori s navojem su također visokotlačni i podržavaju tlakove do 400 bara. Promjenama u hidrauličkom sustavu mogao bi se potencijalno prilagoditi radni tlak kako bi se mogla odabrati ova vrsta akumulatora, no i njihov maksimalni volumen iznosi 10 L pa nisu pogodni za ovu upotrebu. Zavareni membranski akumulatori imaju niži maksimalni tlak i još manje dozvoljene volumene, te se stoga ne razmatraju.

Iako ne postoji jedan akumulator koji može podnijeti visoke tlakove a da uz to ima dovoljan volumen potreban za rad jednog ciklusa vitlanja, može se iskoristiti stalak hidropneumatskih akumulatora. Na isti je moguće postaviti više akumulatora i tako postići potreban volumen.

Točnije, koriste li se v-tlačni akumulatori s mijehom i s maksimalnim iznosom volumena, potrebno je postaviti 3 takva akumulatora na stalak kako bi se dobio volumen od 150 L iznos koji će zadovoljiti i veće iznose težine trupca, ali taj iznos bi bio prevelik jer rezervoar agregata iznosi 124 L. te ne bi imali dovoljno fluida kojim bi ispunili taj agregat. Stoga je potrebno odabrati iznos od 100 L čime se smanjuje masa ukupnog uređaja ali će utjecati na rad vitla.



Slika 4.6. Akumulator

Iako je korištenjem stalka s akumulatorima moguće zadovoljiti potrebe vitla, ovakav veliki dodatni volumen neprikladan je za montažu na traktor. Nadalje, pošto su kućišta hidrauličkih akumulatora izvedena od čelika, značajno bi povećala masu traktora zajedno s uljem koje također nema zanemarivu masu. Iz ovog razloga, prije bilo kakve implementacije akumulatora potrebno je provesti analize kako bi se utvrdilo na koji način nova opterećenja utječu na ostale aspekte rada traktora.

5. RAD VITLA SA ILI BEZ UKLJUČENOG HIDROPNEUMATSKOG AKUMULATORA

5.1. Potrošnja goriva

Potrošnja goriva je najbolji pokazatelj rada vitla sa ili bez akumulatora. Računanjem iznosa snage dizelskog motora koji se prenosi na hidrauličko vitlo, dobije se iznos potrošnje pomoću SFC-a (specifične potrošnje goriva) [15].

Potrebno je procijeniti snagu motora, uzimajući u obzir učinkovitost hidrauličkog sustava i motora, potrebna snaga motora P_{motor} bi glasila:

$$P_{motor} = \frac{P_{vitla}}{\eta_{hidraulički} \times \eta_{motor}} \quad (5.1)$$

gdje su iznosi učinkovitost hidrauličkog sustava 0,89, dok je učinkovitost motora 0,3-0,4. Specifična potrošnja goriva (SFC) dizelskih motora obično je oko 0,2-0,3 litara po konjskoj snazi po satu (L/KS·h), tj. 0,15- 0,225 litara po kW po satu (L/kW·h). Množenjem snage motora i specifične potrošnje goriva računa se stopa potrošnje goriva, pomnožena stopa potrošnje goriva s radnim vremenom daje potrošnju goriva u nekom određenom periodu.

5.2. Izračun za slučaj pokretanja vitla

Potrebna snaga hidrauličnog vitla je 60 kW, računajući učinkovitost hidrauličkog sustava koji iznosi 0,89, te motora 0,35, kasnije množenjem s specifičnom potrošnjom goriva (SFC) dobijemo procijenjenu potrošnju goriva za traktor, iznos je 64,5725 L/h. Ovaj izračun pretpostavlja tipične vrijednosti za učinkovitost hidrauličkog sustava i motora, kao i specifičnu potrošnju goriva. Stvarna potrošnja goriva može varirati ovisno o specifičnim karakteristikama traktora i vitla, uvjetima rada i drugim čimbenicima.

Prosječna potrošnja goriva traktora dok miruje

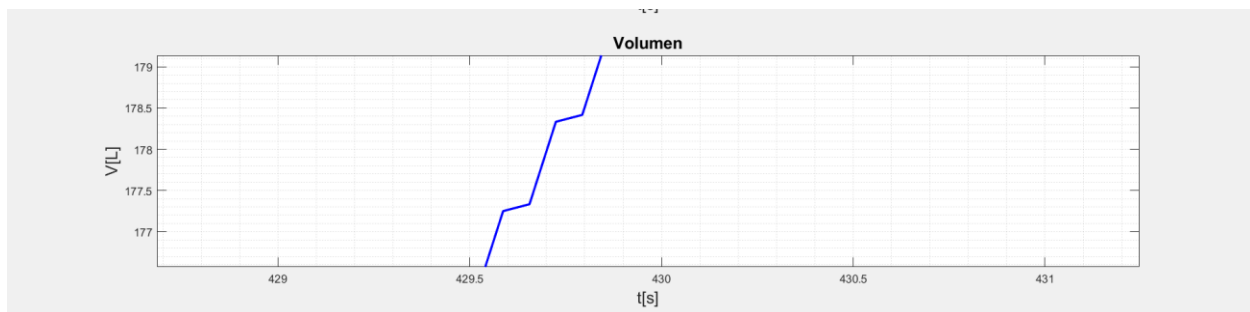
Za većinu modernih dizelskih traktora, potrošnja goriva dok motor radi u praznom hodu (bez opterećenja) je obično između 2 i 4 litre goriva po satu.

Procjena potrošnje goriva traktora od 280 KS

Pretpostavimo da traktor od 280 KS troši oko 3 litre goriva po satu dok miruje. Ovo je okvirna vrijednost i može varirati ovisno o specifičnom modelu i uvjetima.

Pri potezanju mase od 6 tona, pomoću prijašnjih simulacija možemo utvrditi koliko iznosi potrošnja goriva dok vitlo povlači teret 100 sekundi. Za ovaj proces, traktor bi potrošio 0,3 litre goriva. S nekoliko akumulatora čiji bi ukupni iznos bio 100 litara, ovaj bi se proces obavio bez uključivanja motora, eventualno za pokretanje tereta jer je potrebna snaga da se akumulira i veća je sila trenja.

Kao što je već spomenuto, akumulator bi mogao obaviti cijeli proces za manje mase tereta, no kod velikih masa bi samo djelomično mogao obaviti put te bi se onda morao upaliti agregat i pumpa bi mogla obaviti ostatak posla. Istovremeno pumpa i akumulator bi mogli raditi zajedno. Pumpa bi radila pri manjim okretajima i stvarala bi manji protok a taj potreban iznos bi se nadoknadio iz akumulatora. U tom slučaju u rezervoaru treba ostati neki iznos volumena fluida kako bi se osigurao protok koji će proizvoditi pumpa.



Slika 5.1 .Rad pumpe i akumulatora zajedno

Iz dijagrama na slici 5.1 može se vidjeti kako pumpa može pumpati samo određeni iznos u motor te se jedan veliki iznos volumena fluida dovlači iz akumulatora. Preko simulacije je za određeni put od 100 metara, iznos broja okreta pumpe smanjen, te pumpa proizvodi manji protok, odnosno daje procesu manje volumena koji nije dovoljan za odraditi proces u relativno prihvatljivom

vremenu. Time se koristi volumen iz akumulatora, koji bi za ovaj proces trebao iznositi 150 litara. 70 posto tog iznosa bi mogli dovesti iz akumulatora i time bi se potrošnja goriva značajno smanjila.

5.3. Diskusija

Hidropneumatski akumulator bi u principu značajno smanjio potrošnju goriva dizelskog motora, smanjio bi opterećenje pumpe i dizelskog motora traktora. Također, u slučaju kvara hidrauličkog sustava, hidropneumatski akumulator bi se koristio kao alternativa u slučaju nužde.

Evo nekoliko razloga zašto bi se hidropneumatski akumulatori mogli koristiti u traktorskim vitlima. Prvo je smanjenje udara pritiska, akumulatori mogu apsorbirati udare pritiska u hidrauličkom sustavu, što smanjuje opterećenje na komponente sustava i produljuje njihov vijek trajanja. Osigurava stabilni pritisak, akumulatori mogu osigurati stabilan pritisak u sustavu kada postoji varijacija u potrošnji, što može pomoći da vitlo radi ravnomjernije i bez trzaja. Akumulatori mogu pružiti dodatnu snagu u trenucima kada je to potrebno, na primjer, kada se vitlo susreće s velikim opterećenjem. To može smanjiti potrebu za većim, teže opterećenim pumpama ili motorima. Zadnje u određenim situacijama akumulatori mogu smanjiti ukupnu potrošnju energije tako što skladište energiju u periodima kada vitlo nije pod punim opterećenjem, a zatim je oslobađaju kada je potrebno, smanjujući potrebu za kontinuiranim radom pumpe pod visokim opterećenjem [16].

6. ZAKLJUČAK

Ovo istraživanje fokusirano je na poboljšanje učinkovitosti pogona hidrauličkog vitla traktora dodavanjem hidrauličkog akumulatora. Rad započinje uvodom u šumski traktor i karakteristikama hidrauličkog vitla, te hidraulike u širom konceptu njezine karakteristike i šire primjene. Naglasak rada je na predloženoj modifikaciji hidrauličkog sustava koja uključuje hidraulički akumulator. Objašnjeno je načelo rada akumulatora i kako može biti iskorišten za optimizaciju energetske učinkovitosti vitla.

Rezultati simulacija u matlabu pružaju uvid u rad vitla s uvođenjem hidrauličkog akumulatora, s time da pokazuju nepovoljne rezultate u smislu da dobiveni potrebni volumeni premašuju dozvoljene granične vrijednosti. Predloženo je korištenje stalka s akumulatorima kako bi se dosegli potrebni volumenski iznosi, s napomenom o nepraktičnosti montaže i nužnim analizama dodatnog opterećenja koje nastaje zbog znatnog povećanja mase na traktoru.

Rezultati također pokazuju koliko se goriva relativno troši dok traktor stoji, a to vrijeme najčešće korespondira s radom vitla. Dodavanjem hidropneumatskog akumulatora koji omogućuje rad vitla bez uključenog motora s unutarnjim izgaranjem moguće je ostvariti dodatne uštede goriva.

7. LITERATURA

- [1] https://www.tajfun.com/sites/default/files/2024-06/Tajfun_Product_Catalogue_v26_.pdf [pristupljeno 17. 04. 2024]
- [2] https://hr.wikipedia.org/wiki/Kardanski_prijenos [pristupljeno 20. 04. 2024]
- [3] <https://www.rositeh.hr/traktorski-reduktor---1-1,85-%2880hp-60kw%29-muski-muski> [pristupljeno 9. 9. 2024]
- [4] Anthony Esposito "Fluid Power with Applications" USA: 2013
- [5] Doc. dr. sc. Mihael Cipek -02-Predavanje-[Hidraulički fluidi].pdf dostupno s: <https://e-ucenje.fsb.hr/enrol/index.php?id=464> [pristupljeno 1. 11. 2023]
- [6] Doc. dr. sc. Mihael Cipek -03-Predavanje-[Crpke i motori].pdf dostupno s: <https://e-ucenje.fsb.hr/enrol/index.php?id=464> [pristupljeno 1. 11. 2023]
- [7] Doc. dr. sc. Mihael Cipek -06-Predavanje-[Ostali elementi].pdf dostupno s: <https://e-ucenje.fsb.hr/enrol/index.php?id=464> [pristupljeno 1. 11. 2023]
- [8] Hidrauličko traktorsko vitlo EGV 35A: <https://grapak.hr/proizvod/jednobubanjsko-vitlo-tajfun-egv-35-a> [pristupljeno 28. 8. 2024]
- [9] Hidrauličko traktorsko vitlo Krpan 4.5 EH: <https://www.vitli-krpan.com/hr/prodajni-program/sumarski-vitli#serija-eh> [pristupljeno 28. 8. 2024]
- [10] Hidrauličko traktorsko vitlo Uniforest 2x65G: <https://uniforest.com/product/forestry-winch-2x65-g> [pristupljeno 15. 1. 2024]
- [11] Bharat Bhushan : "Introduction to Tribology" Mjesto izdavanja: Hoboken, NJ, USA, Godina izdavanja: 2002
- [12] Hidraulički agregat Quick attack: <https://quickattach.com/products/power-pack-hydraulic-power-unit> [pristupljeno 12. 2. 2024]
- [13] Pumpa A2FO: <https://www.heash-tech.com/rexroth-axial-piston-fixed-pump-a2fo/> [pristupljeno 20. 8. 2024]
- [14] Halasz: Uvod u termodinamiku Zagreb: 2021
- [15] John B. Heywood "Diesel Engine Reference Book" John B. Heywood, Oxford, UK, Godina izdavanja: 1998.
- [16] Korištenje akumulatora kod traktora: <https://pluginhighway.ca/blog/understanding-the-function-and-importance-of-an-accumulator-on-a-tractor> [pristupljeno 18. 8. 2024]
- [17] https://www.hydromot.lu/images/product_images/info_images/Einfach-wirkend_GAL_0.jpg [pristupljeno 16. 9. 2024]

8. PRILOG

8.1. Model vitla ako je masa 6 tona:

```
% Parameters
P_vitlo_max = 100e3;    % Maximalna snaga vitla
m_objekta = 6000;      % Masa objekta u kg
m_bubnja = 20;         % Masa bubnja u kg
r_bubnj = 0.2;         % Radijus bubnja u m
mu_0 = 0.2;           % statiki koeficijent trenja
alfa = 0.22;          % konstanta za koeficijent trenja
g = 9.81;             % gravitacija
t_final = 100;        % vrijeme simulacije
dt = 0.01;           % Time step
v_max = 5;           % Maksimalna brzina
Kp = 5e4;            % Proportional gain for controller
Kd = 1e4;            % Derivative gain for controller
SFC=0.2;
% Moment inercije
I_bubnja = 0.5 * m_bubnja * r_bubnj^2;

% Početni uvjeti
v = 0;              % početna brzina
x = 0;              % početni položaj
omega = 0;          % početna kutna brzina
P_vitlo = P_vitlo_max; % početna snaga
v_prev_error = 0;   % Previous error for derivative term

% Rezultati
time = 0:dt:t_final;
brzina = zeros(size(time));
pozicija = zeros(size(time));
sila_trenja = zeros(size(time));
kutna_brzina = zeros(size(time));
izlazna_snaga = zeros(size(time));

for i = 1:length(time)
    % Faktor trenja
    mu = mu_0 * exp(-alfa * v);

    % sila trenja
    F_friction = mu * m_objekta * g;
```

```

if v == 0
    F_winch = P_vitlo / 0.1; % izbjegavanje dijeljenje s nulom
else
    F_winch = P_vitlo / v;
end

F_net = F_winch - F_friction;
a = F_net / m_objekta;

% Moment
torque = I_bubnja * a/r_bubnj + m_objekta * mu * g * r_bubnj + m_objekta * a * r_bubnj;

% Kutna akceleracija
angular_acceleration = torque / I_bubnja;

% Kutna brzina
omega = omega + angular_acceleration * dt;

% Povećanje korištenjem Eulelove metode
v = v + a * dt;
x = x + v * dt;

% PD kontrola kako bi se regulirala brzina
error = v_max - v;
derivative = (error - v_prev_error) / dt;
P_vitlo = P_vitlo_max + Kp * error + Kd * derivative;
v_prev_error = error;

% Ensure power does not exceed maximum limit
if P_vitlo > P_vitlo_max
    P_vitlo = P_vitlo_max;
elseif P_vitlo < 0
    P_vitlo = 0;
end

% Store results
brzina(i) = v;
pozicija(i) = x;
sila_trenja(i) = F_friction;
kutna_brzina(i) = omega;
izlazna_snaga(i) = P_vitlo;
% Izračun potrošnje goriva
potrosnja_goriva(i) = izlazna_snaga(i) * SFC/(1000*0.3*3600);

```

```

end
length(time)
ukupna_potrosnja_goriva = sum(potrosnja_goriva/10000);
% Plot results
figure;
grid minor
subplot(5,1,1);
plot(time, brzina, 'b');
xlabel('Vrijeme (s)');
ylabel('Brzina (m/s)');
title('Brzina kroz vrijeme');

subplot(5,1,2);
plot(time, pozicija, 'r');
xlabel('Vrijeme (s)');
ylabel('Pozicija (m)');
title('Pozicija kroz vrijeme');

subplot(5,1,3);
plot(time, sila_trenja, 'k');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Trenje');
title('Trenje kroz vrijeme');

subplot(5,1,4);
plot(time, kutna_brzina, 'g');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Kutna brzina (rad/s)');
title('Kutna brzina kroz vrijeme');

subplot(5,1,5);
plot(time, izlazna_snaga, 'm');
xlabel('Vrijeme (s)');
ylabel('Snaga (W)');
title('Snaga o vremenu');

% smanjenje sange
average_power_reduction = 100 * (1 - mean(izlazna_snaga) / P_vitlo_max);
disp(['Average power reduction: ', num2str(average_power_reduction), '%']);

figure
plot(time, potrosnja_goriva, 'c');
xlabel('Vrijeme (s)');
ylabel('Potrošnja goriva (litara)');
title('Potrošnja goriva kroz vrijeme');
grid minor;

```



```
% Ispis ukupne potrošnje goriva
disp(['Ukupna potrošnja goriva: ', num2str(ukupna_potrosnja_goriva), ' litara']);
```

8.2. Iznosi akumulatora

```
n=0.7;%o/min
g=9.81;
s=100;%m

W=[];
t=s/n;
k=1.4;
p2=linspace(110*10^5,450*10^5,8);
p1=110*10^5;
p0=0.9*p1;
V2=[];
V1=[];
delta_V=[];
P=[];
v=0.65;
mi=0.2*exp(-0.22*v)
m=linspace(1000,8000,8);
figure
length(p2)
for i=1:length(m)
    W(i)=m(i)*g*s*0.2*exp(-0.22*v);
    P(i)=m(i)*g*v*0.2*exp(-0.22*v);
    V0=[0,0,0,0,0,0,0,0];
    V2=[0,0,0,0,0,0,0,0];
    V1=[0,0,0,0,0,0,0,0];
    delta_V=[0,0,0,0,0,0,0,0];
    p2=linspace(110*10^5,450*10^5,8);
    for j=1:length(p2)

        V2(j)=W(i)*(k-1)/(k*p2(j)*(1-(p1/p2(j))^(k-1/k)));
        V1(j)=V2(j)*(p2(j)/p1)^(1/k);
        delta_V(j)=V1(j)-V2(j);
        V0(j)=1000*delta_V(j)/((p0/p1)^(1/k)-(p0/p2(j))^(1/k));

    end
end
plot(p2*10^(-5),V0,'o','linewidth',2)

hold on
end
end
W
```

```

grid minor
title('Akumulator','fontsize',15)
xlabel('max. radni tlak [bar]','fontsize',15)
ylabel('V[L]','fontsize',15)
hold on;

```

```

legends = cell(1, length(P));
P=P/10^(3)
for i = 1:length(P)
    legends {i} =[" num2str(P(i)) 'kW'];
end
legend(legends);
hold off;
axis padded

```

8.3. Istovremeno korištenje pumpe i akumulatora

```

%povla?enjeuzeta
l=130;
n_sajle=6;
v=0.65;
t=linspace(0,l/v,l/v);
p_potreban=4.5*10^6;
n_pumpe_max=6;
V_pumpe=5.0*10^(-5);
Q_pumpe=n_pumpe_max*V_pumpe;
Q_potreban=0;
V_nepotrebni=[0];
V_iskoristivi=[];
P1=[];
p_potreban1=14.5*10^(6);
Q_potreban1=65*10^(-3)/60;
p0=0.9*p_potreban1;
p2=24*10^(6);
n_sajle1=5.1;
t1=linspace(l/n_sajle*60,l/n_sajle*60+l/n_sajle1*60,l/n_sajle*60*2);
V_nedostatak=Q_potreban1-Q_pumpe;
V_akumulator=V_nedostatak/((p0/p_potreban1)^(1/1.4)-(p0/p2)^(1/1.4))
V_akumulator=V_akumulator*(l/n_sajle1*60)

for i=2:length(t)
    V_nepotrebni(i)=V_nepotrebni(i-1)+(Q_pumpe-Q_potreban);
end
V_iskoristivi1=[0]
for i=2:length(t)
    V_iskoristivi1(i)=(V_iskoristivi1(i-1)+Q_potreban);
end

```

```

for i=1:length(t)
    V_iskoristivi(i)=(Q_potreban);
end
V1=[sum(V_iskoristivi)];

for i=2:length(t1)

    if rem(i,2)==0
        V1(i)=V1(i-1)+V_nedostatak;
    else
        V1(i)=V1(i-1)+Q_pumpe;
    end
end
for i=1:length(t)
    P1(i)=(Q_potreban*p_potreban);
end
for i=1:length(t1)
    P11(i)=(Q_potreban1*p_potreban1);
end
t_ukupni=cat(2,t,t1);
V_ukupno=cat(2,V_iskoristivi1,V1);
P_ukupno=cat(2,P1,P11);

```

```

figure
subplot(211)
plot(t,V_nepotrebni,'b','linewidth',2)
grid minor
title('Nepotrebni volumen','fontsize',15)
xlabel('t[s]','fontsize',15)
ylabel('Volumen[m^3]','fontsize',15)
axis padded

```

```

subplot(212)
plot(t_ukupni,V_ukupno*1000,'b','linewidth',2)
grid minor
title('Volumen','fontsize',15)
xlabel('t[s]','fontsize',15)
ylabel('V[L]','fontsize',15)
axis padded
figure
plot(t_ukupni,P_ukupno,'b','linewidth',2)
grid minor
title('Snaga','fontsize',15)
xlabel('t[s]','fontsize',15)
ylabel('P[kW]','fontsize',15)

```

```
axis padded
```

```
V_nepotrebn(length(t))
```

8.4. Brzine, momenti o silama

```
% Parameters
```

```
P_vitlo_max = 100e3; % Maximalna sanga vitla
```

```
m_valjka = 20; % Masa bubnja vitla u kg
```

```
r_valjka = 0.2; % Radijus bubnja u metrima
```

```
t_final = 100; % vrijeme simulacije
```

```
dt = 0.01; % step
```

```
% Moment tromosti valjka
```

```
I_valjka = 0.5 * m_valjka * r_valjka^2;
```

```
v = 0; % brzina u m/s
```

```
omega = 0; % Kutna brzina u rad/s
```

```
% Sile
```

```
Sile = linspace(1000, 65000, 8);
```

```
% Preallocate arrays for results
```

```
time = 0:dt:t_final;
```

```
brzina = zeros(length(Sile), length(time));
```

```
kutna_brzina = zeros(length(Sile), length(time));
```

```
Izlazna_snaga = zeros(length(Sile), length(time));
```

```
Izlazni_moment = zeros(length(Sile), length(time));
```

```
for j = 1:length(Sile)
```

```
    F_applied = Sile(j);
```

```
    % Reset initial conditions for each force
```

```
    v = 0;
```

```
    omega = 0;
```

```
    for i = 1:length(time)
```

```
        % Calculate net force and linear acceleration of the object
```

```
        a = F_applied / m_valjka;
```

```
        % Calculate angular acceleration of the drum
```

```
        angular_acceleration = F_applied * r_valjka / I_valjka;
```

```
        % Update angular velocity
```

```
        omega = omega + angular_acceleration * dt;
```

```

% Update linear velocity using Euler's method
v = v + a * dt;

% Ensure the power output does not exceed the maximum winch power
if F_applied * v > P_vitlo_max
    v = P_vitlo_max / F_applied; % Adjust velocity to respect power limit
end

% Calculate torque
Moment= I_valjka * angular_acceleration + F_applied * r_valjka;

% Calculate power output
P_vitla = F_applied * v;

% Store results
brzina(j, i) = v;
kutna_brzina(j, i) = omega;
Izlazna_snaga(j, i) = P_vitla;
Izlazni_moment(j, i) = Moment;
end
end

% Plot results for each force
figure;
subplot(3, 1, 1);
hold on;
for j = 1:length(Sile)
    plot(time, brzina(j, :), 'DisplayName', ['Force = ' num2str(Sile(j)) ' N']);
end
hold off;
xlabel('Vrijeme (s)');
ylabel('Brzina (m/s)');
title('Brzina o vremenu');
legend;

subplot(3, 1, 2);
hold on;
for j = 1:length(Sile)
    plot(time, kutna_brzina(j, :), 'DisplayName', ['Sila = ' num2str(Sile(j)) ' N']);
end
hold off;
xlabel('Time (s)');
ylabel('Kutna brzina (rad/s)');
title('Kutna brzina valjka o vremenu');
legend;

```

```

subplot(3, 1, 3);
hold on;
for j = 1:length(Sile)
    plot(time, Izlazni_moment(j, :), 'DisplayName', ['Sila = ' num2str(Sile(j)) ' N']);
end
hold off;
xlabel('Time (s)');
ylabel('Moment (Nm)');
title('Moment o vremenu');
legend;

figure;
hold on;
for j = 1:length(Sile)
    plot(time, Izlazna_snaga(j, :), 'DisplayName', ['Force = ' num2str(Sile(j)) ' N']);
end
hold off;
xlabel('Time (s)');
ylabel('Snaga (W)');
title('Snaga o vremenu');
legend;

% Calculate and display the maximum velocity for each force
max_velocity = zeros(1, length(Sile));
for j = 1:length(Sile)
    max_velocity(j) = max(brzina(j, :));
    disp(['Max velocity for Force = ' num2str(Sile(j)) ' N: ', num2str(max_velocity(j)), ' m/s']);
end

```