



REPUBLIKA HRVATSKA  
Ministarstvo regionalnoga razvoja  
i fondova Europske unije



EUROPSKI STRUKTURNI  
I INVESTICIJSKI FONDOVI



Operativni program  
KONKURENTNOST  
I KOHEZIJA



# Potencijalna upotreba novog učinkovitog elektro-hidrauličkog sustava s izravnim pogonom namijenjenom hibridnim električnim skiderima

Juraj Benić, **Juraj Karlušić**, Željko Šitum, Mihael Cipek,  
Danijel Pavković

## Uvod

Sve veći pritisak vlada i organizacija kroz nove regulative i zahtjevi za smanjenjem troškova šumarskih vozila iziskuju:

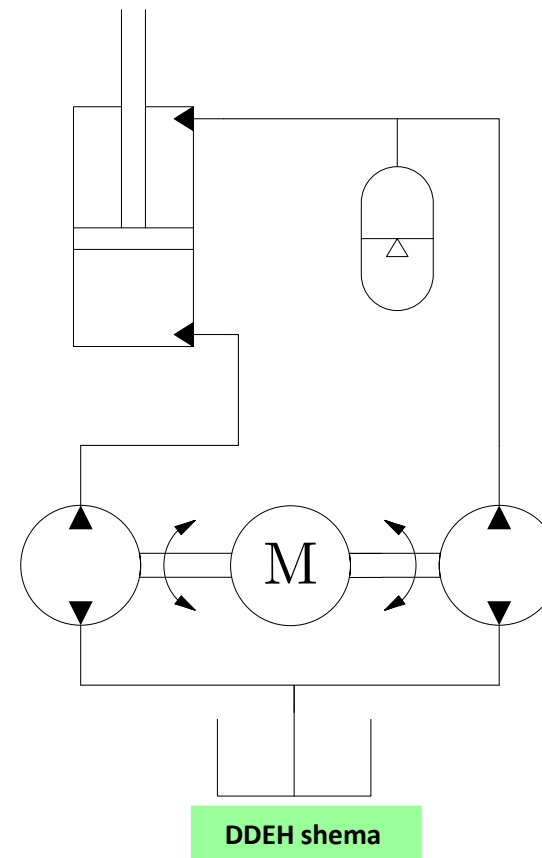
- Hibridne i električne pogone
  - Modernizirane hidrauličke sustave za popratne pogone na skideru
- 
- Hidraulički sustavi na skiderima i ostalim radnim vozilima su većinom klasični, kontrolirani ventilom
  - Skideri su traktori prenamijenjeni za izvlačenje srušenih debela it šume
  - Zaštićeni su zaštitnim daskama, opremljeni vitlom i pogonom na sva četiri kotača



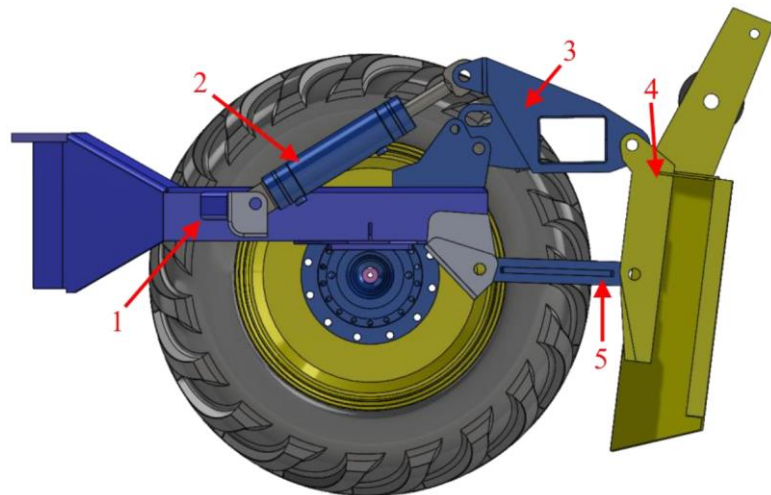
Skider EcoTrac 120V

## Uvod u direktno pogonjenu hidrauliku

- Najveći nedostatak klasične hidraulike su zagrijavanje sustava, manja efikasnost i gubitak pritiska u sustavu
- Direktno pogonjeni hidraulički (DDH) sustavi imaju kompaktniju strukturu, bolju pouzdanost i efikasnost
- Povezuje najbolje stvari iz električnih i hidrauličkih pogona
- Omogućuje direktnu kontrolu protoka kroz pumpe

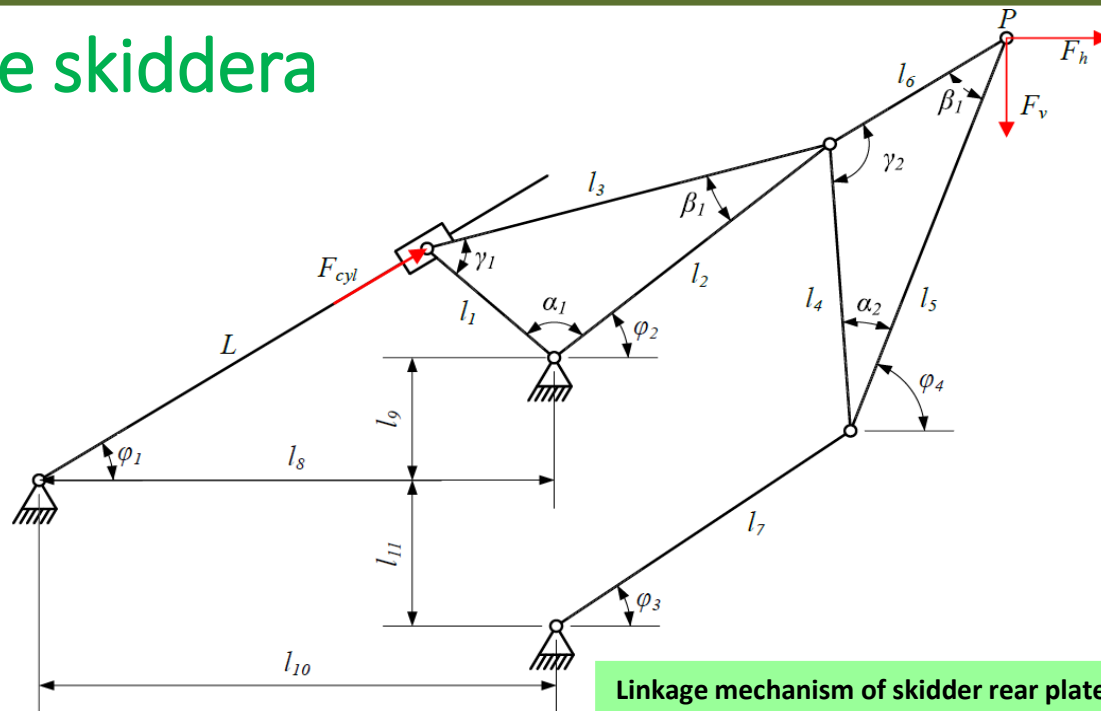


# Statička analiza sila zadnje odrivne daske skiddera



Stražnja zaštitna daska

- 1 – šasija od skidera
- 2 – dvoradni asimetrični cilindar
- 3 – gornja ruka
- 4 – stražnja zaštitna daska
- 5 – donja ruka

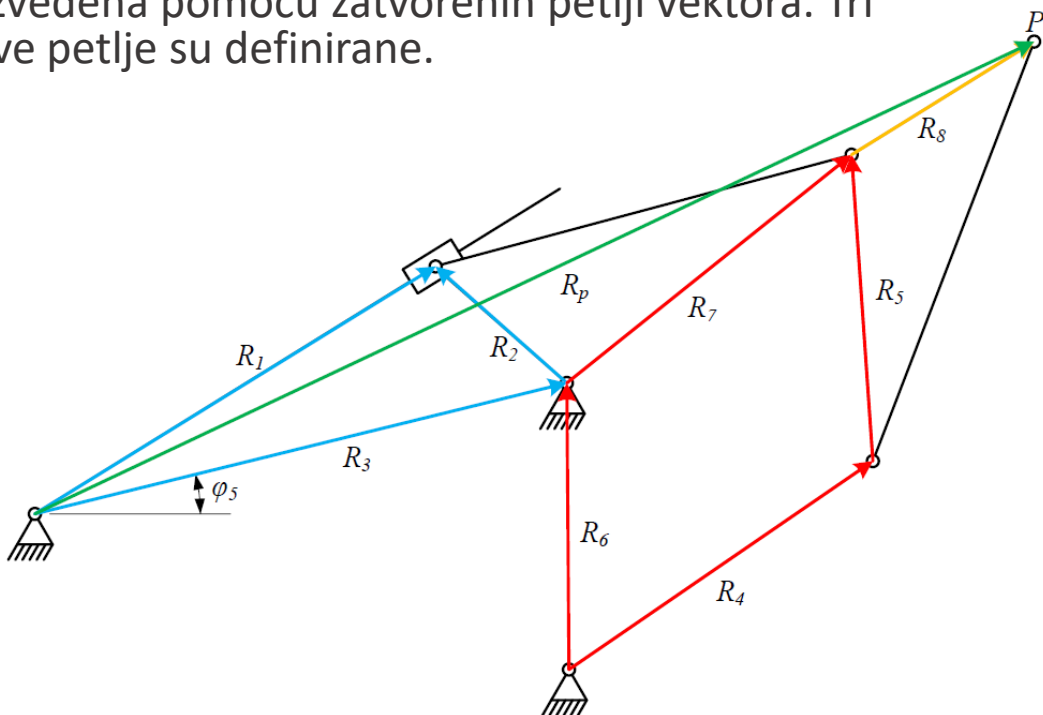


Linkage mechanism of skidder rear plate

- Hidraulička sila u cilindru ( $F_{cyl}$ ) je ulazna sila u sustav dok su  $F_h$  i  $F_v$  horizontalna i vertikalna komponenta sile u sajli
- Dimenzija  $L$  predstavlja duljinu cilindra dok su dimenzije individualnih štapova definirani sa  $l_i$
- Kutevi su definirani sa simbolom  $\phi_i$

# Štapni mehanizam

- Analiza pozicije predloženog štapnog mehanizma je izvedena pomoću zatvorenih petlji vektora. Tri takve petlje su definirane.



Pozicija vektora štapnog mehanizma za zadnju zaštitnu dasku skidera

Prva petlja vektora:

$$L e^{j\varphi_1} - l_1 e^{j\beta} - l_{R_3} e^{j\varphi_3} = 0,$$

$$L \cos(\varphi_1) - l_1 \cos(\beta) - l_8 = 0,$$

$$L \sin(\varphi_1) - l_1 \sin(\beta) - l_9 = 0.$$

$$\varphi_2 = \cos^{-1} \left( \frac{L^2 - l_1^2 - l_8^2 - l_9^2}{2l_1 \sqrt{l_8^2 + l_9^2}} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{l_9}{l_8} \right) - \alpha_1.$$

Druga petlja vektora:

$$l_7 e^{j\varphi_3} + l_4 e^{j\gamma} - l_{R_6} e^{j\varphi_6} - l_2 e^{j\varphi_2} = 0,$$

$$k_1 = l_8 - l_{10} + l_2 \cos(\varphi_2),$$

$$k_2 = l_9 + l_{11} + l_2 \sin(\varphi_2).$$

$$\varphi_4 = \cos^{-1} \left( \frac{k_1^2 + k_2^2 + l_4^2 - l_7^2}{2l_4 \sqrt{k_1^2 + k_2^2}} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{k_2}{k_1} \right) - \alpha_2.$$

Treća petlja vektora:

$$R_p = R_3 + R_7 + R_8.$$

$$l_{p,x} = l_8 + l_2 \cos(\varphi_2) + l_6 \cos(\alpha),$$

$$l_{p,y} = l_9 + l_2 \sin(\varphi_2) + l_6 \sin(\alpha),$$

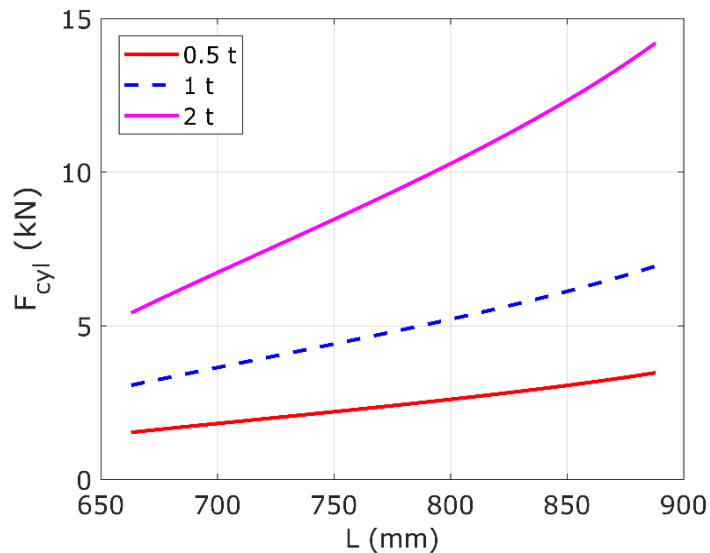
$$\alpha = \varphi_4 + \alpha_2 + \gamma_2 - 180.$$

## Virtualni rad

- Koncept virtualnog rada je korišten za određivanje sile u cilindru na osnovu sile u sajli vitla
- Za podizanje i spuštanje zaštitne daske se koriste dva ista hidraulička cilindra

$$\delta W = 2F_{cyl}\delta L + F_h\delta l_{P,x} + |F_v|\delta l_{P,y} = 0.$$

$$2F_{cyl} = -F_h \frac{\partial l_{P,x}}{\partial L} - F_v \frac{\partial l_{P,y}}{\partial L}$$



Statički profil sile u cilindru za različite terete

$$\frac{\partial l_{P,x}}{\partial L} = -l_2 \sin(\varphi_2) \frac{\partial \varphi_2}{\partial L} - l_6 \sin(\alpha) \frac{\partial \varphi_4}{\partial L},$$

$$\frac{\partial l_{P,y}}{\partial L} = l_2 \cos(\varphi_2) \frac{\partial \varphi_2}{\partial L} + l_6 \cos(\alpha) \frac{\partial \varphi_4}{\partial L}$$

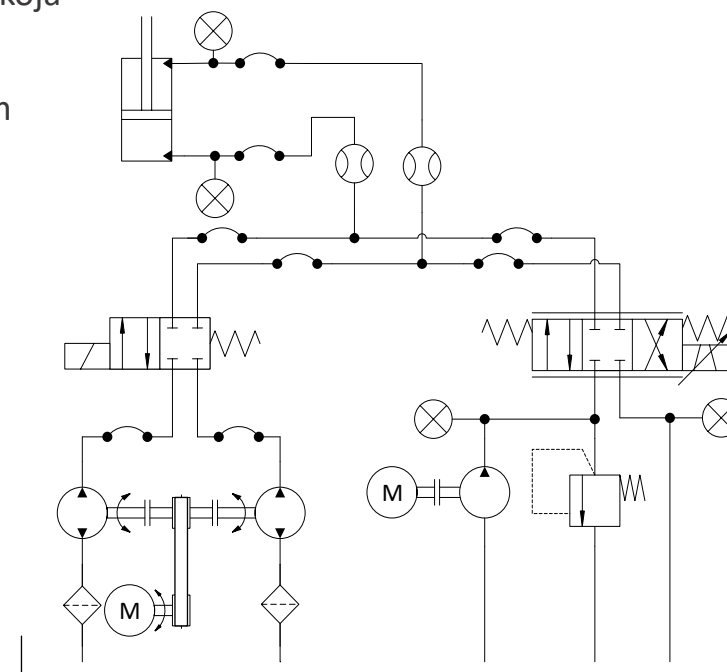
- Horizontalna i vertikalna komponenta sile u sajli su dane i mjerene za različite terete i nagibe terena
- Statička sila u cilindru je izračinata preko izraza prikazanog iznad za dane sile u sajli i pozicije cilindra
- Sile u cilindru imaju skoro pa linearnu karakteristiku, ali sa različitim nagibom koji ovisi o masi tereta

# Eksperimentalni sustav

- Eksperimentalni sustav se sastoji i od klasičnog elektro-hidrauličkog sustava upravljanog sa ventilom i od izravno pogonjenog hidrauličkog sustava
- Klasični dio sustava koristi 1.1 kW AC motor sa 1380 rpm koji je povezan sa 3.7 cm<sup>3</sup>/rev zupčastom pumpom, koja omogućuje stalni tlak od 60 bara
- Proporcionalni ventil PRM2 od Argo-Hytos-a je korišten za upravljanje sa dvoradnim cilindrom 32/22x300 mm



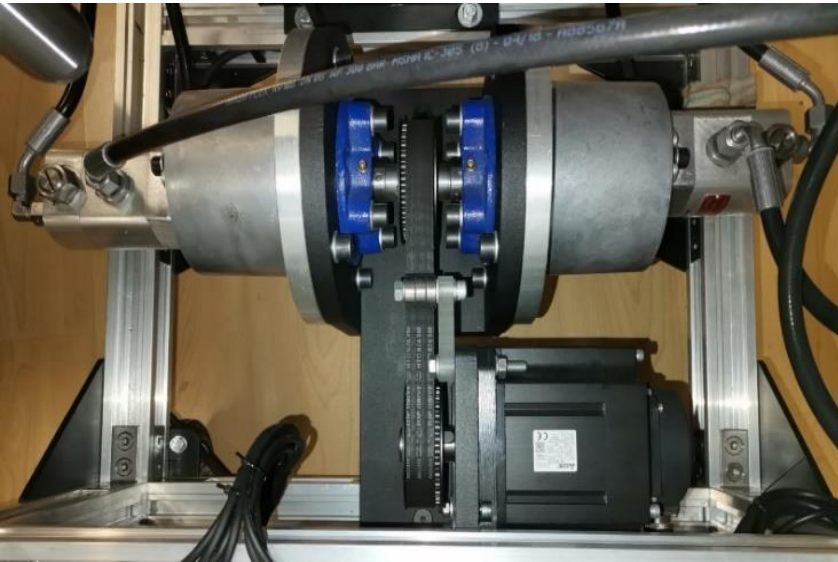
Eksperimentalni sustav



Shema eksperimentalnog sustava

## DDH sustav

- DDH sustav koristi dvije Argo-Hytos zupčaste pumpe sa obujmom od 4.8 i 2.5 cm<sup>3</sup>/rev za direktnu kontrolu hidrauličkog cilindra
- Servo motor od 1.4 kW sa maksimalnom brzinom vrtnje od 2000 rpm je korišten za pogon pumpi
- Remenski prijenos je korišten za prijenos momenta sa servomotora do pumpe



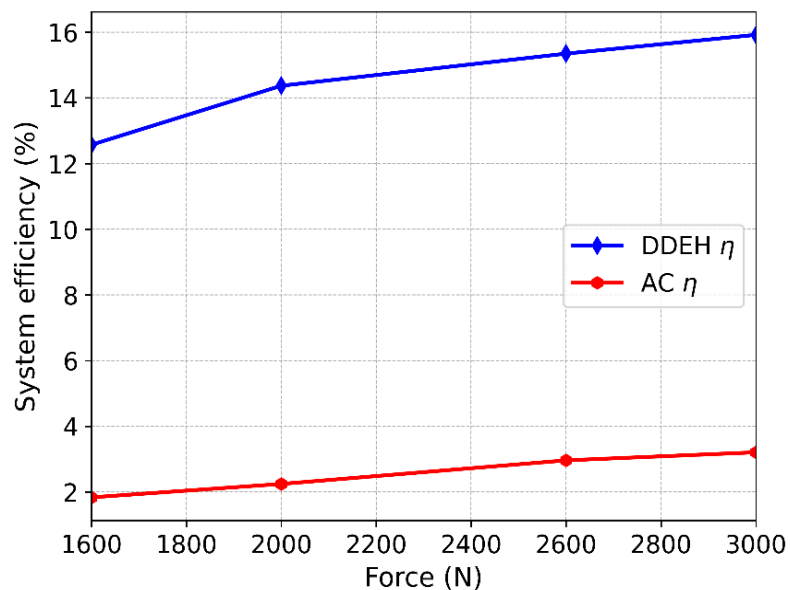
DDH pogon

- Žični Micro-Epsilon WDS senzor je korišten za mjerenje pozicije cilindra
- EVS and HDA senzori od Hydac-a se koriste za mjerenje protoka u ulazu i izlazu iz cilindra i mjerenje tlaka unutar spremnika



# Eksperimentalno mjerenje energetske efikasnosti

- Mjerenja kod oba sustava su se koristila kod tereta od 160, 200, 260 and 300 kg
- Jedan testni ciklus se sastoji od 3 podizanja i 3 spužanja tereta, a ulaz u sutav je referentni step signal
- Trajanje jednog ciklusa iznosi jednu minutu
- Ulazna i izlazna energija su izračunate na temelju mjerenih podataka



Efikasnost sustava za statični teret

- DDH sustav ima puno veću efikasnost od klasičnog sustava

Potrošnja energije za statični teret

	F (kN)	1.6	2	2.6	3
Classical system	$E_{in}$ (kJ)	77.8	78.7	80	80
	$E_{out}$ (kJ)	1.4	1.7	2.3	2.5
DDEH system	$E_{in}$ (kJ)	11.4	12.3	15.1	16.2
	$E_{out}$ (kJ)	1.4	1.7	2.3	2.5

- Klasični sustav daje konstantan pritisak
- Tlak unutar DDH sustava je određen na temelju sile u cilindru
- 5 puta manje energije je korišteno

## Zaključak

- U optimalnoj radnoj točki, potrošnja goriva skidera je između 200 i 214 g/kWh
- Potrošnja goriva je izračunata i dana u tablici
- Cijena DDH komponenti iznosi oko 1480 EUR
- Sa godišnjom uštedom od 253.3 EUR, predloženi sustav je isplativ unutar 6.3 godine

### Potrošnja goriva sustava

	$E_{in}$ (kJ)	fuel consumption (L)	skidding cycles per day [4]	workdays per year	fuel price (EUR)
Classical system	80	0.027	30	285	295.5
DDEH system	16.2	0.0055	30	285	60.2

- Predloženi sustav mora biti pažljivo montiran na skider i zaštićen od vanjskih utjecaja
- Zbog toga svega, dizajniranje i proizvodnja ovog sustava postaje skuplja
- Još i veće uštede bi bile moguće ako bi se koristila potencijalna energija prilikom spuštanja daske i kod proširenja uporabe DDH i na ostale hidrauličke sustave
- Potencijalna energija bi mogla biti iskorištena tako da se pretvori u električnu i pohrani u baterije



REPUBLIKA HRVATSKA  
Ministarstvo regionalnoga razvoja  
i fondova Europske unije



EUROPSKI STRUKTURNI  
I INVESTICIJSKI FONDOVI



Operativni program  
KONKURENTNOST  
I KOHEZIJA



**Hvala na pažnji!**