



REPUBLIKA HRVATSKA
Ministarstvo regionalnoga razvoja
i fondova Europske unije



EUROPSKI STRUKTURNI
I INVESTICIJSKI FONDOVI



Operativni program
KONKURENTNOST
I KOHEZIJA



Usporedba učinkovitosti različitih struktura pogonskog sklopa hibričnih električnih skidera

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

Uvod

U zadnje vrijeme sve više i više šumskih strojeva je opremljeno sa nekakvom vrstom hibridnog sustava, a sve u cilju:

- Smanjenja potrošnje goriva
- Smanjenja emisije štetnih plinova

Hibridni sustavi se sastoje od dva ili više različitih spremnika energije, a osnovne vrste izvedbi su:

- Serijska
- Paralelna
- Serijsko-paralelna struktura

Sve to dovodi do mnogih pitanja kao što su odabir pravilne strukture, veličina i snaga komponenti, kontrola toga energije. To sve ima utjecaj na cijelu i efikasnost hibridnog pogona, i mogućnost retrofitiranja postojećih vozila.

Uvod

- Ova prezentacija proučava razliku u efikasnosti između različitih hibridnih struktura primjenjenih na skideru
- Serijska hibridna struktura je modelirana kao jednostavni „Backward” model
- Hibridne komponente su skalirane kako bi zadovoljavale performanse potrebne za skiderovo obavljanje posla
- Odabrana konfiguracija je ispitana pomoću simulacije i rezultati su uspoređeni su konvencionalnom i paralelnom strukturom

Skider

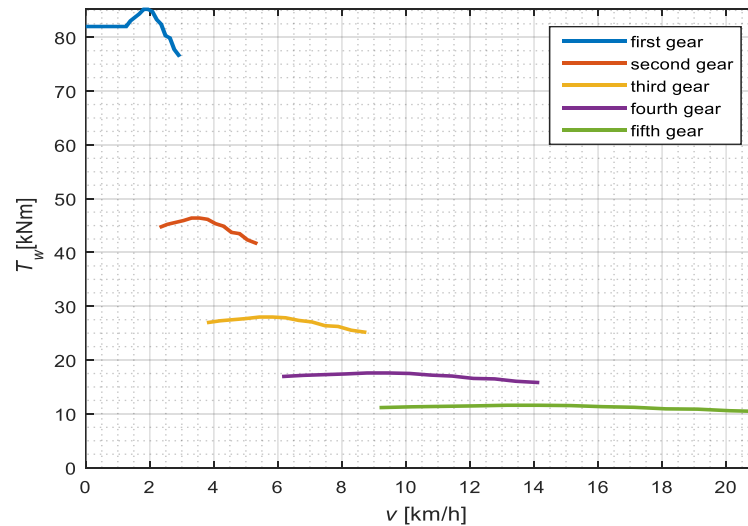
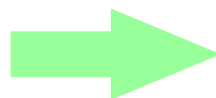
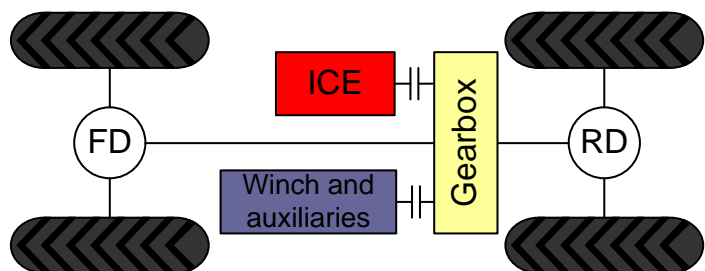
- Skideri su prenamijenjeni traktori korišteni za izvlačenje trupaca iz šume
- Pogonski sklop se sastoji od dizelskog motora, ručnog mjenjača i pogona na sva četiri kotača
- Opremljen je vitlom, vitlo i ostali pomoćni sustavi su pogonjeni sa hidraulikom



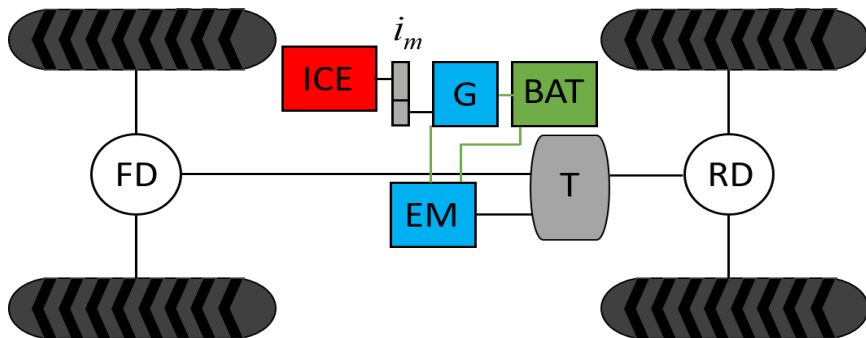
- Dvobubanjsko vitlo ima sajlu dugačku 70m i brzinu privitlavanja od 1.26 m/s
- Prilikom dolaska na mjesto eksploatacije radnici povezuju trupce sa sajlom te ih onda skider privlači do svoje zaštitne daske
- Prilikom vitlanja skider se nalazi u praznom hodu

Konvencionalni i hibridni skider

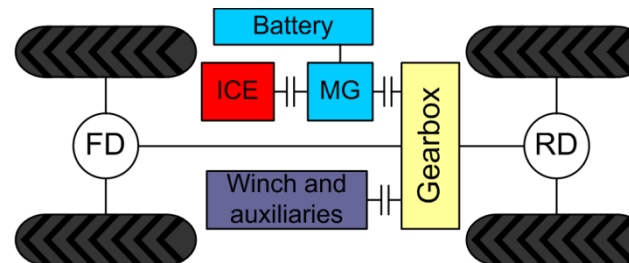
Conventional skidder powertrain



Drive torque dependant on vehicle speed



Predložena serijska hibridna konfiguracija

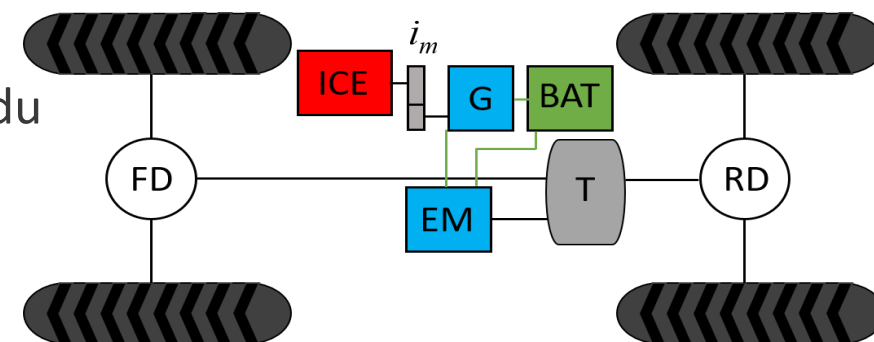


Serijska hibridna konfiguracija

- Predložena hibridna konfiguracija mora zadržati sve karakteristike u vidu performansi kao i konvencionalno vozilo:
 - Pogon na sva četiri kotača
 - Okretni moment na kotaču
 - Maksimalnu brzinu vozila

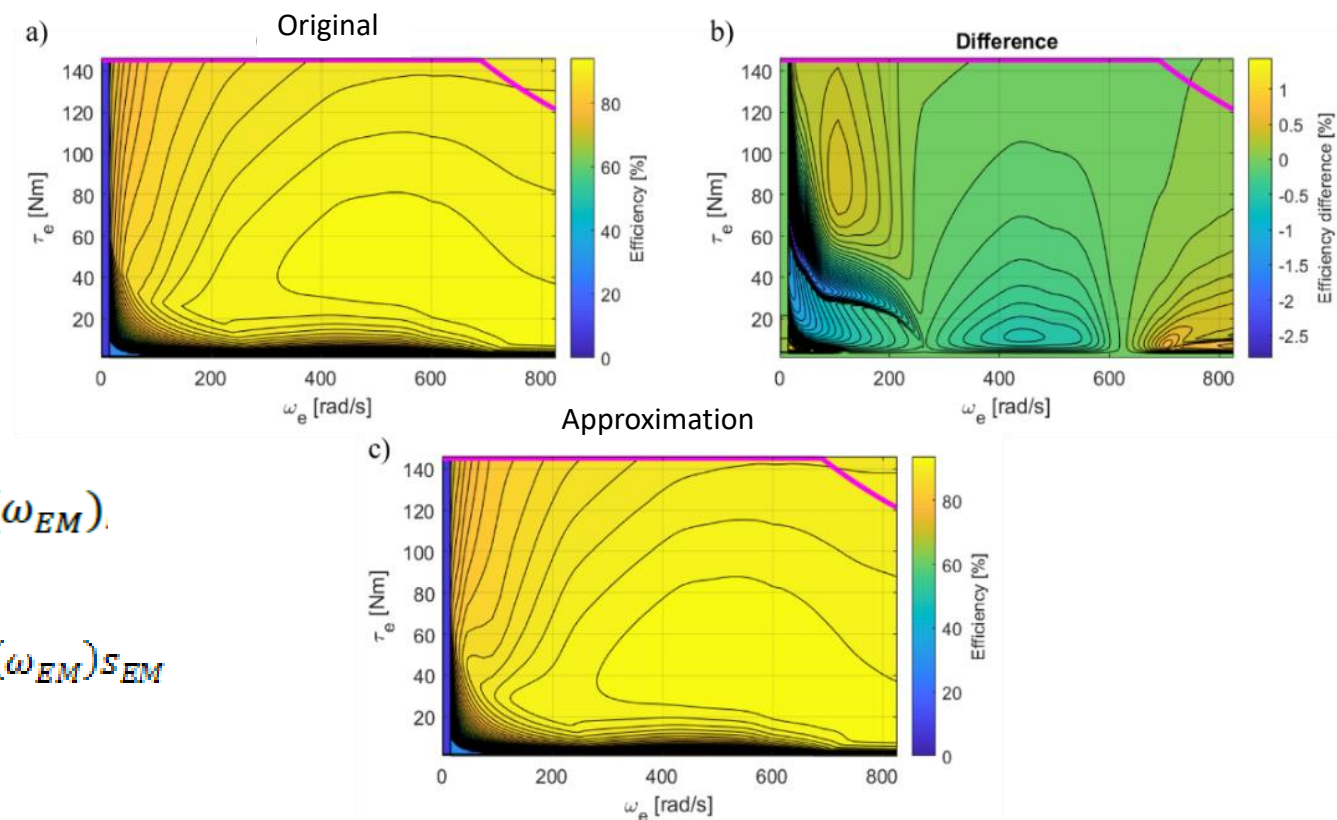
- Za zadržavanje pogona na sva četiri kotača elektromotor mora biti postavljen:
 - Na pogonskom vratilu
 - U slučaju više motora onda ispred diferencijala za svaku osovinu ili u svaki kotač posebno

- Elektromotor preuzima pogon skidera, dok pritom dizelski motor ostaje nepromijenjen kako bi promjene na skideru ostale minimalne. Električni generator je sa dizelskim motor povezan preko jednostupanjskog zupčanog prijenosa.



Odabir i skaliranje elektromotora

- Elektromotor i generator korišteni u ovom radu su skalirani od postojećeg motora sa permanentnim magnetima EVO-AF140
- Skaliralo se pomoću Willansove linije

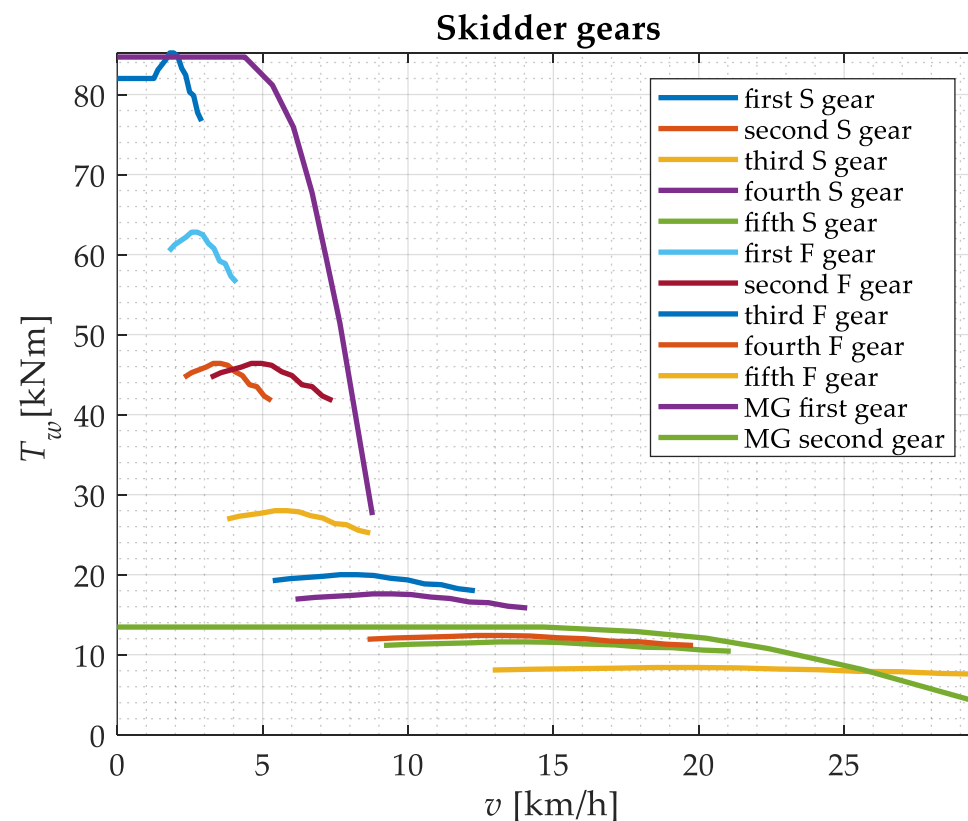


$$P_{EM,loss}(\omega_{EM}, T_{EM}) = c_1(\omega_{EM})T_{EM}^2 + c_2(\omega_{EM})T_{EM} + c_3(\omega_{EM})$$

$$P_{EM,loss,s}(\omega_{EM}, T_{EM}, s_{EM}) = c_1(\omega_{EM})\frac{T_{EM}^2}{s_{EM}} + c_2(\omega_{EM})T_{EM} + c_3(\omega_{EM})s_{EM}$$

Odabir mjenjačke kutije

- Jedan elektromotor pogoni vozilo u ovoj serijskoj strukturi
- Izabrana je mjenjačka kutija sa dva stupnja prijenosa
 - Prvi stupanj je za velike izlazne momente i sporiju brzinu vožnje ($i_1 = 360$)
 - Drugi stupanj je za manje terete i za vožnju po cesti ($i_2 = 58$)



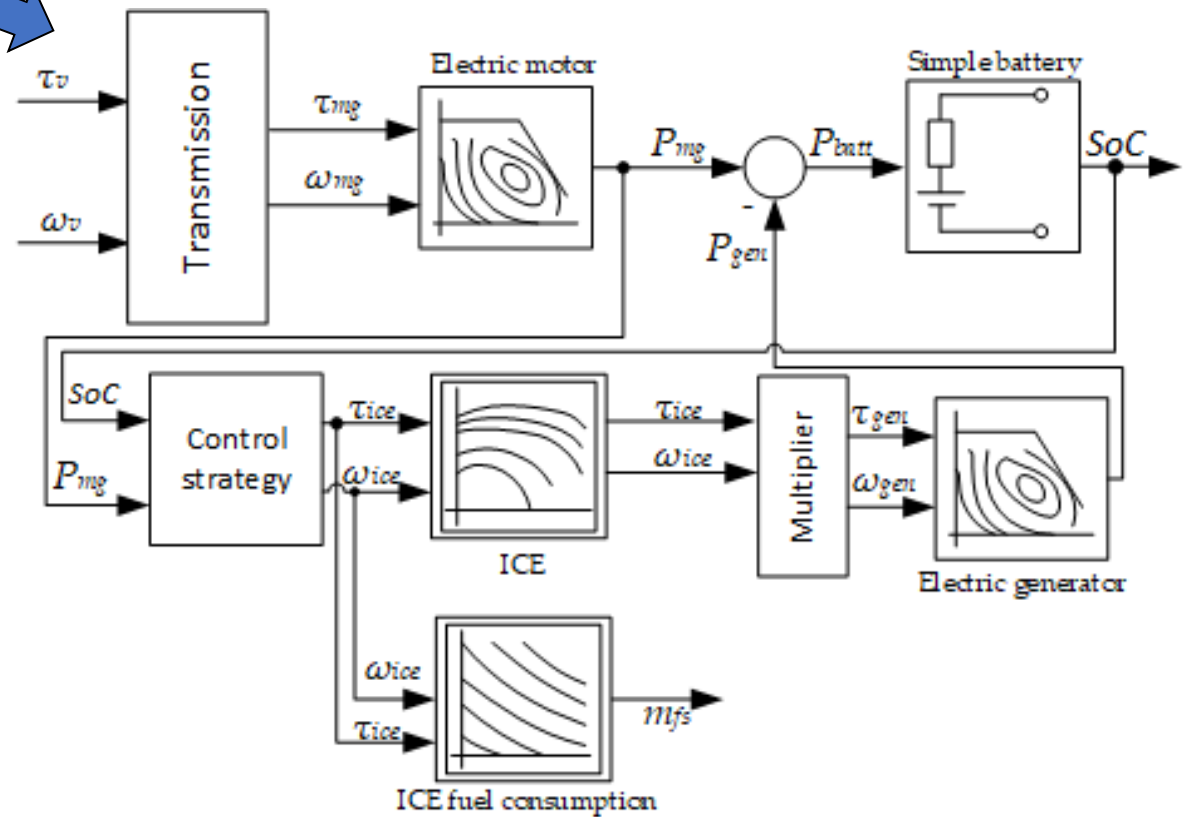
Simulacijski model

l (m)	Uphill Drive h (m)	v_{ref0} (km/h)
0	477.3	5.48
45.5	493.55	5.48
91	495.06	8.71
136.5	491.69	13.22
182	491.98	13.22
227.5	494.23	13.22
273	498.23	8.71
318.5	502.89	8.71
364	509.23	8.71
409.5	517.5	5.48
455	528.26	5.48
500.5	538.17	5.48
546	543.63	13.22
591.5	547.47	8.71
637	555.94	8.71
682.5	565.37	5.48
728	585.46	3.31
773.5	600.11	5.48
819	613.58	5.48
864.5	619.35	8.71
910	615.2	8.71

Skider motion model

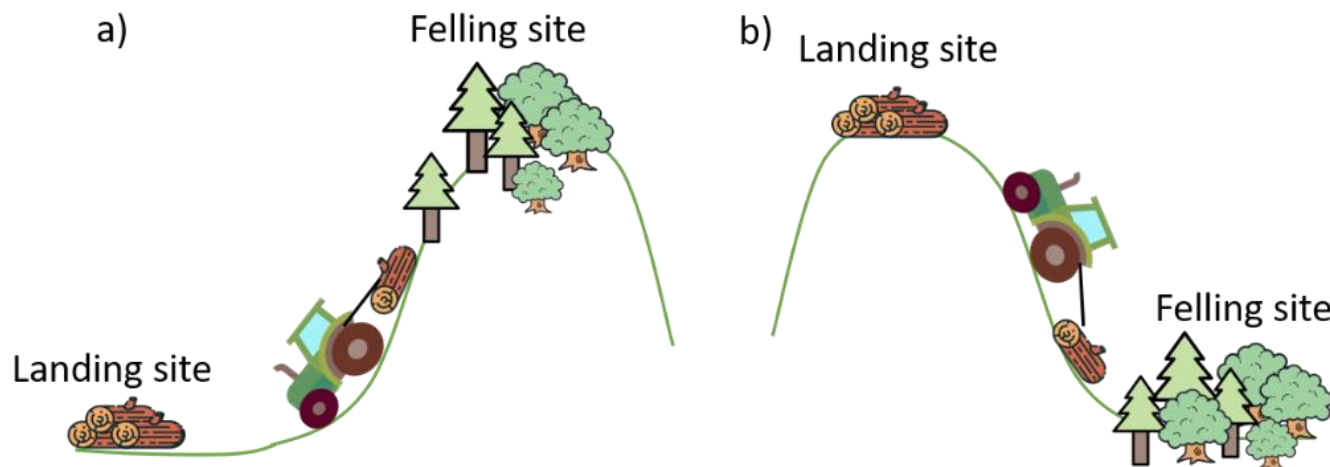
- Jednostavna kontrola pomoću pravila (bez optimizacije)
- Održavanje SoC-a
- Smanjena potrošnja goriva

$$\frac{dSoC}{dt} = \frac{\sqrt{U_{oc}^2(SoC) - 4R(sgn(i))P_{batt}} - U_{oc}(SoC)}{2Q_{max}R(sgn(i))}$$



Simulacijski ciklus

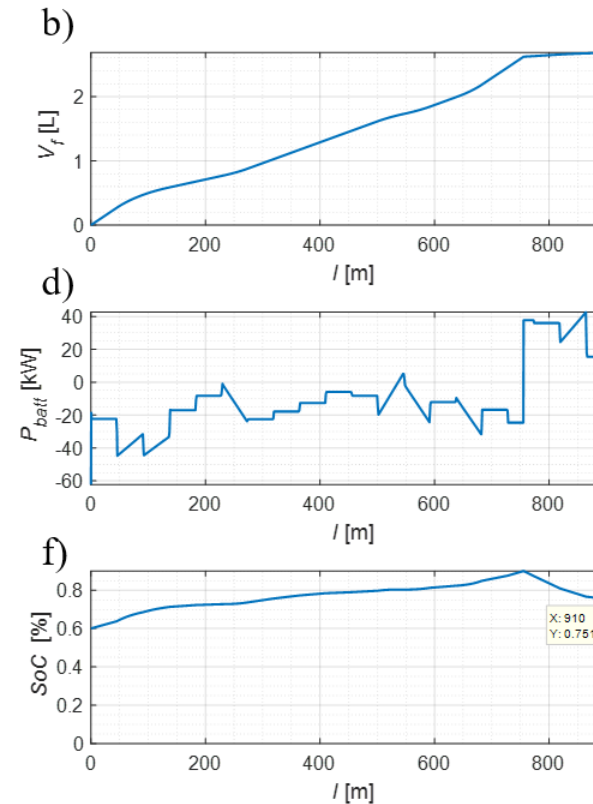
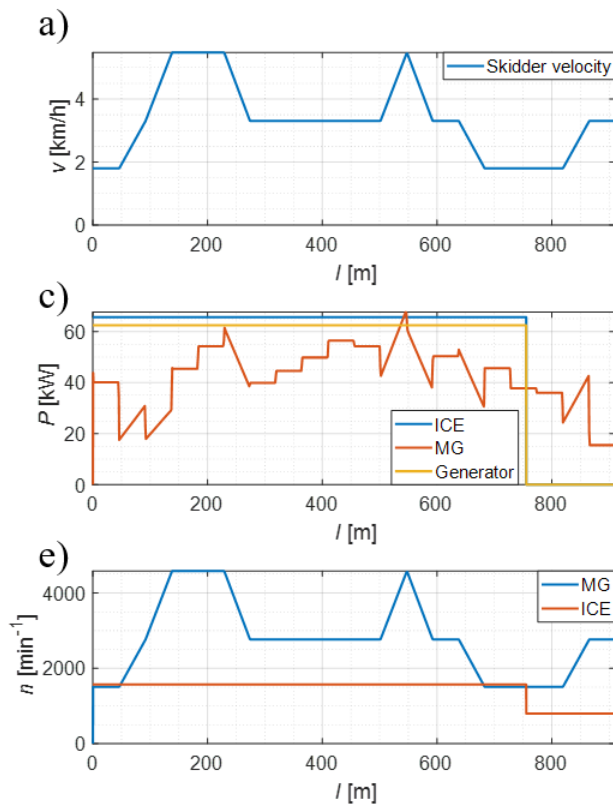
- Vožnje se sastoje od jedne staze dugačke 910 metara i tri različita tereta:
 - Najteži teret iznosi 6 tona
 - Srednji teret iznosi 3 tone
 - Bez tereta
- Skider radni dan započinje sa 60% napunjenosti baterije
- Jedan radni dan od skidera je podijeljen na dva različita scenarija
 - Mjesto eksploatacije je na vrhu brda dok je mjesta istovara na dnu
 - Mjesto istovara je na vrhu brda dok je mjesto eksploatacije na dnu



Simulacijski rezultati

Tip skidera	Radni dan	V_f (L)
Konv.	Prvi	25.73
Serijski	Prvi	21.47
Konv.	Drugi	19.51
Serijski	Drugi	15.84

- Uštede goriva su:
 - 16.5% za prvi radni dan
 - 18.8% za drugi radni dan
 - **17.65% prosijek**
- Ako ih usporedimo sa uštedama kod paralelnog hibrida iz prošlog istraživanja, ušteta je više za oko 0.4%. Mora se uzeti u obzir da su korištene različite strategije upravljanja



Troškovi i emisije CO₂

Tip Skidera	Potrošnja goriva (L)		CO ₂ Emissions (kg)		Cijena goriva (EUR)
	1 Ciklus	15,000 Ciklusa	1 Ciklus	15,000 Ciklusa	
Konvencionalni	2.62	39300	6.92	103800	49911
Serijski hibrid	2.17	32550	5.73	85950	41338
Uštede	0.45	6750	1.19	17850	8573
Paralelni hibrid	2.22	33300	5.86	87900	40543
Uštede	0.40	6000	1.06	15900	7650

- Serijska konfiguracija je:

- bolja pri uštedi goriva (**923 EUR**).
- Skuplja (potrebno je više dodatnih komponenti, komponente za paralelni hibrid koštaju **7340 EUR**)

Komponenta	Cijena (EUR)
Baterija 15 kW	2340
Električni motor 100 kW	7000
Električni generator 89 kW	6000
Ukupno	14340

Zaključak

- U ovom radu je predstavljena i modelirana serijska kombinacija hibridnog skidera
- Karakteristike serijske konfiguracije su:
 - Ima 17.7% veću prosječnu uštedu goriva u odnosu na konvencionalno vozilo
 - Zahtjeva više modifikacija pogonskog sklopa u odnosu na paralelnu konfiguraciju (različita mjenjačka kutija, dodatni elektromotori...).
 - Treba skoro 50% više vremena kako bi se isplatila u odnosu na paralelnu, zahvaljujući dodatnim komponentama



REPUBLIKA HRVATSKA
Ministarstvo regionalnoga razvoja
i fondova Europske unije



EUROPSKI STRUKTURNI
I INVESTICIJSKI FONDOVI



Operativni program
KONKURENTNOST
I KOHEZIJA



Hvala na pažnji!!