



# Razvoj hibridnoga skidera

U okviru Operativnoga programa »Konkurentnost i kohezija 2014.–2020.« unutar poziva »Ulaganje u znanost i inovacije« KK.01.1.1.04. završen je projekt »Razvoj hibridnog skidera – HiSkid«. Projekt se provodio tri godine, od 20. 12. 2019. godine do 20. 12. 2022. godine. Nositelj je projekta bio Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu uz partnersku instituciju Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Ukupna vrijednost projekta od 4 772 915 HRK sufinancirana je sredstvima Europskoga fonda za regionalni razvoj.

U projektom su timu bili prof. dr. sc. Marijan Šušnjar (voditelj projekta), prof. dr. sc. Željko Zečić, izv. prof. dr. sc. Zdravko Pandur, izv. prof. dr. sc. Hrvoje Nevečerel, izv. prof. dr. sc. Kruno Lepoglavec i dr. sc. Marin Bačić iz Zavoda za šumarske tehnike i tehnologije, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, te prof. dr. sc. Željko Šitum, izv. prof. dr. sc. Danijel Pavković, prof. dr. sc. Josip Kasač, doc. dr. sc. Mihael Cipek i doc. dr. sc. Mario Hrgetić iz Zavoda za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Za vrijeme trajanja projekta zaposlena su dva suradnika: Hrvoje Korseak, mag. ing. silv., na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu te Juraj Karlušić, mag. ing. mech., na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.

Za razvoj hibridnoga pogona bio je nužan preduvjet precizno odrediti potrošnju energije skidera pri privlačenju drva u različitim terenskim uvjetima. Za to je bilo potrebno obaviti terenska mjerenja na postojećim vozilima, zatim provesti adekvatnu analizu prikupljenih podataka koji nakon obrade služe kao osnova za razvoj hibridnih pogona. Pri analizi potrošnje energije za potrebe modeliranja pogona hibridnoga skidera ključne su vrijednosti ekstremne – maksimalne vrijednosti. Budući hibridni pogon mora zadovoljiti potrebu za energijom u svim uvjetima rada, uključujući i najzahtjevnije situacije koje se mogu dogoditi kada skider radi u ekstremnim uvjetima. Zbog toga je bilo potrebno dugotrajno praćenje i mjerenje potrošnje energije kako bi se uočile ekstremne situacije i izmjerila najveća potrošnja

energije po radnom danu, radnom ciklusu i pojedinoj radnoj operaciji.

Istraživanje su provedena na dvama skiderima Ecotrac 140 V u vlasništvu Hrvatskih šuma d.o.o. pri stvarnim uvjetima rada privlačenja drva na području Uprave šuma podružnica Bjelovar i Uprave šuma podružnica Gospić. Od početka prijave projektoga prijedloga 2017. godine Hrvatske šume d.o.o. Zagreb podržavale su aktivnosti istraživanja inovativnih tehničkih rješenja u konstrukciji skidera radi povećanja učinkovitosti, smanjenja potrošnje goriva i štetnoga utjecaja na okoliš pri privlačenju drva. Pismom potpore Uprave Hrvatskih šuma d.o.o. pružena je potrebna pomoć i podrška svim aktivnostima projekta.

Na oba je skidera postavljena i ugrađena mjerna oprema WIGO-E (Telematic Data collector) pristupnik s integriranim GPS-om i mjerачem protoka goriva (preciznost u mililitrima) poduzeća Mobilis d.o.o.. Uređaji su omogućili precizno prikupljanje podataka o tehničkim karakteristikama tijekom privlačenja drva na različitim radnim zadacima i pri različitim terenskim uvjetima. Podaci o potrošnji goriva, položaju i smjeru kretanja skidera, aktivnosti vitla, brzini vrtnje motora, momentu pogonskoga motora, položaju papučice gasa i temperaturi prikupljeni su povezivanjem CANBUS sabirnice s računala vozila na WIGO-E pristupnik. WIGO-E prenosio je sve podatke preko GSM-a na mrežne platforme (Cloud). Pri tome je ostvarena frekvencija prikupljanja podataka sa skidera u rasponu od tri do pet sekundi. Osim daljinskoga prikupljanja podataka na terenu se bilježila i količina privučenoga drva prilikom svakoga turnusa privlačenja. Ukupno je prikupljeno navedenih mjernih podataka za 162 radna dana skidera na UŠP Gospić i 110 dana na UŠP Bjelovar.

Idejno je rješenje hibridnoga pogona skidera nastalo na osnovi podataka prikupljenih s dvaju skidera Ecotrac 140 V pri stvarnim uvjetima rada, mehaničkih parametara pogona (brzinska svojstva motora, prijenosni omjeri transmisije i slično) te sheme hidrauličnih i električnih sustava. Izrađeni su matematički i simulacijski modeli komponenata

pogona hibridnoga skidera te računalni algoritmi za obradu podataka i testiranje na laboratorijskom postavu vitla. Primjenom matematičkih modela pogona uz definirane radne cikluse dobivene mjerenjem određena je struktura te dimenzije elemenata hibridnoga pogona (elektromotor, baterije, upravljačka jedinica).

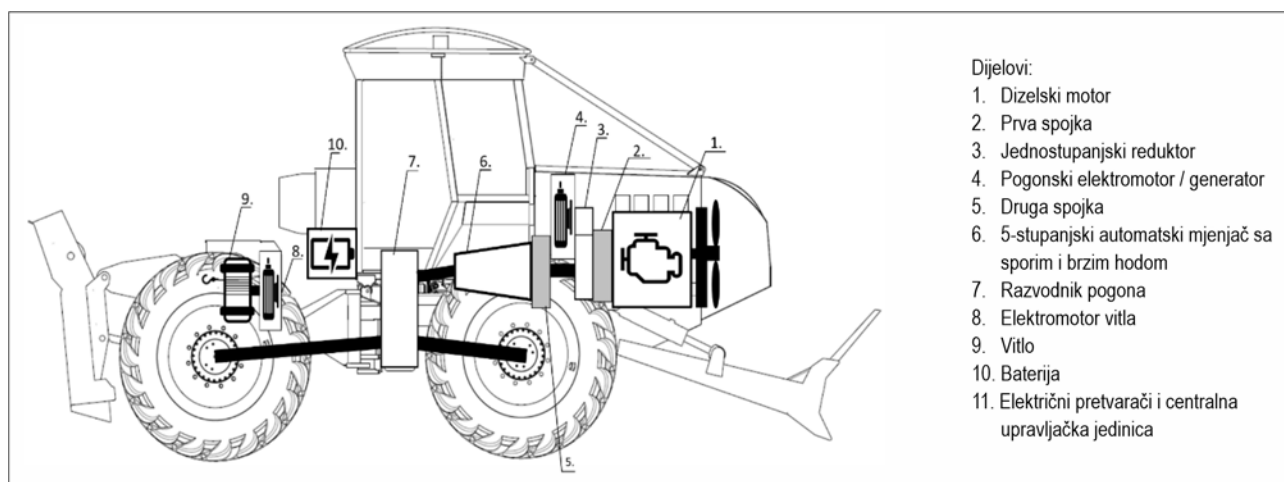
Završni su rezultati projekta predstavljeni na stručnim radionicama održanim 15. i 16. prosinca 2022. godine. Prva je radionica održana u *online* okruženju zbog velikoga interesa sudionika iz znanstvenih institucija i privrednih subjekta iz mnogih mjesta izvan Zagreba iz Hrvatske i iz susjednih zemalja (Slovenija, Bosna i Hercegovina, Srbija, Sjeverna Makedonija). Posljednja je radionica održana na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu s više od 20 sudionika. Na radionicama je voditelj projekta prof. dr. sc. Marijan Šušnjar detaljno predstavio sve aktivnosti i pokazatelje projekta, dok su članovi projektnoga tima s FSB-a prikazali strategiju upravljanja i strukturu pogona hibridnoga skidera i šumskoga vitla.

Rezultati su projekta predstavljeni u 15 usmenih izlaganja na 11 međunarodnih savjetovanja i u 12 znanstvenih radova objavljenih u međunarodnim časopisima iz baze Web of Science:

1. Z. Pandur, M. Šušnjar, M. Bačić, 2021: Battery Technology – Use in Forestry. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 42(1): 1–12.
2. J. Karlušić, M. Cipek, D. Pavković, J. Benić, Ž. Šitum, Z. Pandur, M. Šušnjar, 2020: Simulation Models of Skidder Conventional and Hybrid Drive. *Forests*, 11(9), 921: 1–19.
3. J. Karlušić, M. Cipek, D. Pavković, Ž. Šitum, J. Benić, M. Šušnjar, 2020: Benefit Assessment of Skidder Power-train Hybridization utilizing a novel Cascade Optimization Algorithm. *Sustainability*, 12(24), 10396.
4. V. Mergl, Z. Pandur, J. Klepárník, H. Kopssek, M. Bačić, M. Šušnjar, 2021: Technical Solutions of Forest Machine Hybridization. *Energies*, 14, 2793: 1–14.
5. H. Kopssek, M. Šušnjar, M. Bačić, M. Šporčić, Z. Pandur, 2021: Skidders Fuel Consumption in Two Different Working Regions and Types of Forest Management. *Forests*, 12(547): 1–10.
6. H. Kopssek, Z. Pandur, M. Bačić, Ž. Zečić, H. Nevečerel, K. Lepoglavec, M. Šušnjar, 2022: Exhaust Gases from Skidder ECOTRAC 140 V Diesel Engine. *Forests*, 13(272): 1–14.
7. D. Pavković, Cipek, M.; Plavac, F.; Karlušić, J.; Krznar, M: Internal Combustion Engine Starting and Torque Boosting Control System Design with Vibration Active Damping Features for a P0 Mild Hybrid Vehicle Configuration. *Energies* 15(4), 1311: 1–24.
8. J. Benić, J. Karlušić, Ž. Šitum, M. Cipek, D. Pavković, 2022: Direct Driven Hydraulic System for Skidders. *Energies*, 15, 2321: 1–13.
9. D. Pavković, A. Premec, M. Krznar, M. Cipek, 2022: Current and voltage control system designs with EKF based state of charge estimator for the purpose of LiFePO 4 battery cell charging. *Optimization and Engineering*, 23(5): 1–29.
10. M. Krznar, D. Pavković, M. Cipek, 2022: Direct-current electrical systems integration on a hybrid skidder using a parallelized step-down power converter array. *Energy Reports*, 8: 1–12.
11. M. Šušnjar, Z. Pandur, M. Bačić, H. Nevečerel, K. Lepoglavec, H. Kopssek, 2023: Possibilities for the Development of an Electric Hybrid Skidder Based on Energy Consumption Measurement in Real Terrain Conditions. *Forests*, 14(1), 58: 1–10.
12. K. Lepoglavec, M. Šušnjar, Z. Pandur, M. Bačić, H. Kopssek, H. Nevečerel, 2023: Correct calculation of the existing longitudinal profile of a forest/skid road using GNSS and UAV device. *Forests*, 14(4), 751: 1–13.

Osnovni je rezultat projekta idejno inovacijsko rješenje hibridnoga skidera koje će biti temelj za prototip koji se daljnjim razvojem može ponuditi na tržištu kao inovativni proizvod visoke dodane vrijednosti. Inovacija se odnosi na hibridni skider kojemu je uz dizelski motor pridružen elektromotor odvojen dvjema spojkama. Time se omogućuju višerežimski modovi rada i zamjena hidrauličnoga pogona vitla elektromotornim pogonom. U privitlavanju ulogu pogona pumpi preuzima elektromotor kako bi prilikom takvih aktivnosti dizelski motor mogao biti isključen ili u praznom hodu radi uštede goriva. Elektromotor je smješten između mjenjačke kutije i dizelskoga motora, a spojke se nalaze između dizelskoga motora i elektromotora te između elektromotora i mjenjačke kutije. Dodatni elektromotor također mijenja pogon hidrauličnoga vitla. Uz te komponente dodana je baterija (akumulator) za pohranu energije. Takva struktura pogona odgovara takozvanoj P2 paralelnoj hibridnoj varijanti pogona te sve osnovne funkcije konvencionalnoga skidera ostaju nepromijenjene, a to su: pogon na sva četiri kotača, hidraulični pogon dodatnih mehaničkih komponenti vozila i neovisnost o dostupnosti električne mreže.

Masa baterije, elektromotora, središnje upravljačke jedinice te ostalih električnih komponenti uzro-



Slika 1. Hibridni skider – paralelna hibridna konfiguracija

Fig. 1 Hybrid skidder – paralel hybrid configuration

kovat će povećanje mase skidera, ali uz pravilni raspored opterećenja po osovina moguće je ostvariti bolje vučno svojstvo skidera (prijenos sile s kotača na podlogu) te povećati stabilnost skidera pri radu na većim nagibima traktorskih putova.

Podrobni će opisi dijelova električno-hibridnoga pogona skidera, režima rada elektromotora i strategije upravljanja biti predstavljene u idućim objavama u znanstvenim časopisima.

Krajnji je rezultat projekta prijava patenta hibridnoga šumskoga traktora – skidera Državnomu zavodu za intelektualno vlasništvo, koja je upravo u postupku.

U listopadu 2022. godine u Osijeku na udruženom 48. Hrvatskom salonu inovacija s međunarodnim sudjelovanjem i 18. Izložbi inovacija, prototipova i studentskih poslovnih planova idejnomu rješenju hibridnoga pogona skidera Međunarodni ocjenjivački sud i Savez hrvatskih inovatora dodijelili su zlatnu medalju.

Sve se informacije o rezultatima projekta mogu pratiti na internetskoj stranici [www.hiskid.hr](http://www.hiskid.hr).



Slika 2. Nagrada za idejno rješenje hibridnoga šumskoga traktora – skidera

Fig. 2 Award for conceptual solution of hybrid forest tractor – skidder

Marijan Šušnjar