

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ ŠUMARSTVA

SMJER: TEHNIKE, TEHNOLOGIJE I MENADŽMENT U ŠUMARSTVU

ANĐELKO BRNIĆ

KLIZANJE KOTAČA SKIDERA PRI PRIVLAČENJU DRVA

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2013.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

KLIZANJE KOTAČA SKIDERA PRI PRIVLAČENJU DRVA

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Šumarstvo, smjer Tehnike, tehnologije i menadžment u šumarstvu

Predmet: Mehanizacija pridobivanja drva

Ispitno povjerenstvo:

1. izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar
2. doc. dr. sc. Jurij Marenče
3. prof. dr. sc. Dubravko Horvat

Student: Anđelko Brnić

JMBAG: 0068201450

Broj indeksa: 157/2010

Datum odobrenja teme: 31. 05. 2013.

Datum predaje rada: 13. 09. 2013.

Datum obrane rada: 20. 09. 2013.

Zagreb, rujan, 2013.

Ključna dokumentacijska kartica

Naslov	Klizanje kotača skidera pri privlačenju drva
Title	Wheel slip during wood extraction
Autor	Anđelko Brnić
Adresa autora	Fra Eugena Matića 21, Livno, BiH
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar
Komentor	doc. dr. sc. Jurij Marenče
Izradu rada pomogao	Marko Zorić, mag. ing. silv.
Godina objave	2013.
Obujam	I – V + 37 str. + 5 tablica + 21 slike + 39 navoda literature
Ključne riječi	Skider, klizanje kotača, privlačenje drva, pridobivanje drva
Key words	Skidder, wheel slip, wood extraction, wood harvesting
Sažetak	<p>U radu je izvršena usporedba klizanja kotača dva različita skidera pri jednakim uvjetima privlačenja (jednaki tovari i nagibi traktorskog puta i šumske vlake). Prvi skider u istraživanju je ECOTRAC 120 V, hrvatskog proizvođača Hittner d.o.o. sa mehaničkom transmisijom, a drugi skider je slovenske proizvodnje WOODY 110 s hidrostatskom transmisijom.</p> <p>Klizanje kotača skidera tijekom istraživanja utvrđivano je na osnovu broja okretaja kotača po putu. Prijeđeni je put izračunat iz umnoška broja okretaja petoga kotača i njegovog opsega.</p> <p>Pri privlačenju niz nagib klizanje kotača je negativno. Općenito se može reći da se, pri istim uvjetima pri privlačenju uz nagib, klizanje kotača povećava s povećanjem težine tovara, a pri privlačenju niz nagib su manje negativne vrijednosti klizanja s povećanjem težine tovara. Klizanje kotača ovisi o težini tovara i stanju tla. Kod smrznutog tla manje je klizanje kotača.</p> <p>Usporedbom klizanja kotača kod istraživanih skidera ustanovljene su prednosti hidrostatsko-mehaničke transmisije pri privlačenju drva uz nagib. No, pri privlačenju niz nagib mehaničkom transmisijom se se ostvarila manja klizanja kotača.</p> <p>Navedeni zaključci se mogu objasniti većom krutošću mehaničke transmisije odnosno, većim unutarnjim trenjima mehaničke transmisije koji omogućavaju zadržavanje skidera pri kretanju niz nagib.</p> <p>S druge strane može se zaključiti o nedostatku hidrostatsko-mehaničke transmisije pri kretanju niz nagib jer vjerojatno dolazi do pada tlaka u hidrauličkom sustavu.</p> <p>Kod privlačenja se drva uz nagib očituje prednost hidrauličko-mehaničke transmisije uslijed učinkovitijeg prijenosa zakretnih momenata na kotače.</p> <p>Navedene pretpostavke potrebno je potkrijepiti daljnjim istraživanjima skidera različitih sustava transmisije pri jednakim radnim uvjetima (isto stanje podloge, uporaba lanaca i isti tovari).</p>

Kazalo sadržaja

Dokumentacijsk kartica.....	I
Kazalo sadržaja	II
Popis slika	III
Popis tablica	IV
Uvod.....	1
Povijesni razvoj skidera.....	6
Problematika istraživanja	8
Mehanička transmisija	8
Hidrostatska transmisija	9
Transmisija skidera.....	11
Klizanje kotača	13
Cilj istraživanja	16
Tehničke karakteristike skidera	17
Metode mjerenja	20
Mjesto istraživanja	26
Rezultati	27
Zaključci.....	34
Literatura.....	35

Popis slika

Slika 1. Sustav transmisije skidera

Slika 2. Kinematička shema hidrauličkog pogona vitla

Slika 3. Dvobubanjsko vitlo

Slika 4. Valjci vitla

Slika 5. Skider ECOTRAC 120V (a) i Skider TIBOTRAC (b)

Slika 6. Pogon kotača vozila sa hidrostatskom transmisijom

Slika 7. Skider Tigercat 630D

Slika 8. Skider WOODY 110

Slika 9. Krivulja klizanja kotača

Slika 10. Skider ECOTRAC 120

Slika 11. Skider WOODY 110

Slika 12. Ugrađeni dinamometar sa ugrađenim mjernim trakama za mjerenje zakretnih momenata i opterećenja na kotačima skidera Woody 110

Slika 13. Dinamometri na skideru Ecotrac 120 V

Slika 14. Dinamometri na skideru WOODY 110

Slika 15. Klizni prijenosnik na kotaču skidera Ecotrac 120 V

Slika 16. Klizni prijenosnik na kotaču skidera Woody 110

Slika 17. Peti kotač na skideru Ecotrac 120 V

Slika 18. Peti kotač na skideru Woody 110(2010)

Slika 19. Pojačala, radio modem i antena na skideru Ecotrac 120 V

Slika 20. Pojačala i računalo na skideru Woody 110

Slika 21. Situacija i niveleta traktorskog puta pri mjerenju vučne značajke skidera Woody 110

Popis tablica

Tablica 1. Odabrani tovari za usporedbu

Tablica 2. Odabrani vučni pokusi za usporedbu

Tablica 3. Vučni pokusi sa skiderom Ecotrac 120 V

Tablica 4. Vučni pokusi sa skiderom WOODY 110

Tablica 5. Usporedba klizanja kotača u vučnim pokusima

Predgovor

1. Uvod

Eksploatacijom šuma naziva se radni proces koji obuhvaća skup djelatnosti vezanih za pridobivanje drva. Sastoji se od sječe i izradbe te transporta drva s polufazama privlačenja i prijevoza drva (Krpan, 1992). Pod privlačenjem smatra se micanje cijelih stabala ili dijelova (debla, drvni sortiment) od mjesta sječe i izrade do pomoćnog stovarišta. Privlačenje se može izvršiti na razne načine i različitim sredstvima. U prošlosti privlačenje se obavljalo uporabom ljudske ili životinjske snage te korištenjem vodotokova i sile gravitacije na nagnutim terenima. Razvoj tehnike koji je napredovao u 20. stoljeću, omogućio je razvoj mehaničkih sredstava za privlačenje drva.

Mehaniziranje privlačenja drva u šumama započinje 50-ih godina prošlog stoljeća primjenom velikoserijskih poljoprivrednih traktora. U početku su radili bez prilagodbi za privlačenje jednostavnim prihvatnim napravama. Zbog tehničkih zahtjeva za izvođenje radova privlačenja u šumskim terenskim uvjetima, poljoprivredni traktori dodatno se opremaju zaštitnim konstrukcijama i vitlima za rad u brdskim uvjetima ili prikolicama s dizalicama za privlačenje u proredima nizinskih predjela. Prednost opremanja traktora vitlima je njihovo kretanje samo po traktorskim vlakama čime se smanjuje oštećenje šumskog tla i mladih stabala. Traktor sa postavljenim vitlom na stražnjem kraju ne mora zauzeti položaj uz posječeno stablo ili izradene drvne sortimente prilikom formiranja tovara jer radom vitla postoji mogućnost privitlavanja stabla, debla ili drvnog sortimenta od mjesta sječe i izrade do traktora na vlaci. Ovako opremljeni poljoprivredni traktori za šumske radove nazivaju se adaptirani poljoprivredni traktori (Horvat, 1996.).

Adaptirani poljoprivredni traktori za privlačenje drvnih sortimenata pokazali su nezadovoljavajuće radne karakteristike kao što su: velike dimenzije i veliki polumjer kruga okretanja vozila, slaba uzdužna stabilnost te veliko opterećenje stražnje osovine pri privlačenju tovara. Poljoprivredni traktori imaju 2/3 ukupne mase praznog traktora na stražnjoj osovini što se dodatno povećava ugradnjom vitla na stražnji kraj traktora. Pri privlačenju drva, prevelika opterećenja na stražnjoj osovini uzrokuju poremećaj uzdužne stabilnosti adaptiranih poljoprivrednih traktora i smanjenje njihove vučne sposobnosti.

Zbog navedenih nedostataka adaptiranih poljoprivrednih traktora za potrebe privlačenja drva razvijaju se specijalizirani šumski zglobni traktori – skideri (eng. skidder). Skider se prema normi ISO 6814:2000 (Machinery for forestry – Mobile and self-propelled machinery –

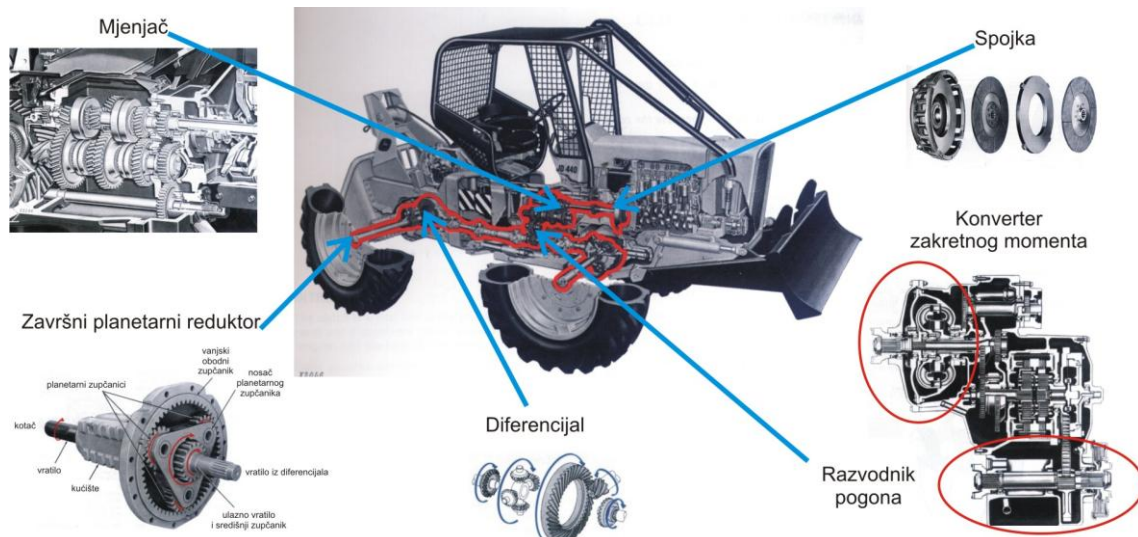
Terms, definitions and classification) definira kao šumsko zglobno samohodno vozilo za privlačenje stabala ili dijelova stabala. Rad privlačenja drva odvija se jednim krajem tovara odignutim od tla i oslonjenim na stražnji kraj vozila, dok se drugi kraj tovara vuče po tlu.

Skider je zglobno vozilo s četiri kotača jednakih dimenzija, formule pogona 4x4. Konstrukcijskim rješenjima, na prednjoj osovini skidera se raspodjeljuje oko 2/3 ukupne mase. Takva raspodjela mase skidera je potrebna zbog načina rada i osiguranja dobre uzdužne stabilnosti skidera. Pri privlačenju drva, odignuti kraj tovara se oslanja na zadnji dio skidera te se dinamička opterećenja prednje i zadnje osovine izjednačavaju ili su ovisno o položaju drva u tovaru, veličini tovara i nagibu terena, opterećenja na zadnjoj osovini veća. Granični tovar koji će skider moći privlačiti je stoga određen dopuštenim opterećenjem zadnje osovine, kutom uzdužne stabilnosti i ostvarivanjem vučne sile preko kotača (Horvat, 1990)

Podvozje se skidera sastoji od dva odvojena okvira. Prednji dio skidera ima ugrađen prednji most s kotačima, motor, mjenjač, razvodnik pogona i kabinu, sve učvršćeno na prednji dio okvira podvozja. Na stražnjem su okviru podvozja također preko poluosovina postavljeni kotači, ali i potrebna šumska nadogradnja - šumsko vitlo, zaštitna daska, horizontalni i vertikalni valjci vitla.

Osim opremanja šumskog zglobnog traktora vitlom (eng. cable skidder) razvijaju se i različite konstrukcije prihвата (utovara) drva: s hvatalom okrenutim prema dolje (eng. grapple skidder) i s hvatalom okrenutim prema gore te dizalicom za utovar drva (eng. clam-bunk skidder).

Prednji i stražnji okvir spojeni su zglobno s mogućnošću gibanja zgloba, pomoću hidrauličnih cilindara, samo u vodoravnoj ravnini. Zglobom se ostvaruje lakše upravljanje skiderom u terenskim uvjetima te manji krug okretanja čime se poboljšava kretnost vozila. Kinematika hodnog mehanizma skidera je takva da u zaokretu stražnji kotači prate prednje kotače. Povećanje bočne stabilnosti skidera pri radu na nagibu ili pri prelasku preko površinskih prepreka je omogućeno njihanjem prednje osovine. Njihanje prednje osovine se izražava kutom oscilacije - kutom stvorenim oscilacijom osovine u oba smjera (Sever i Horvat, 1985).

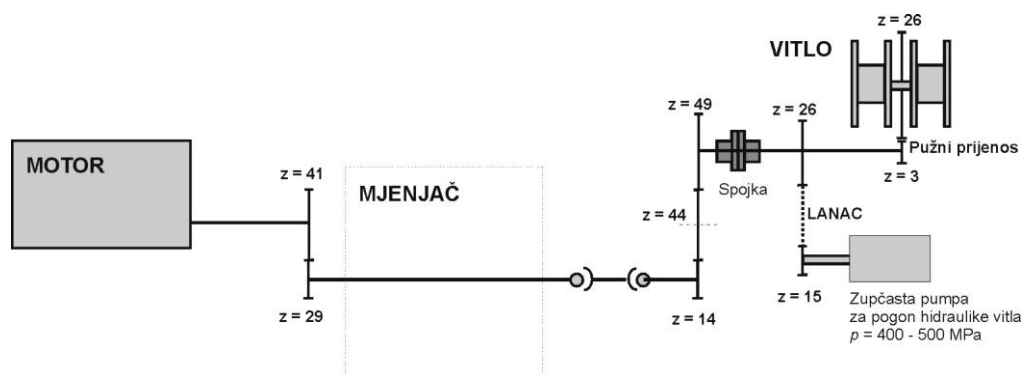


Slika 1. Sustav transmisije skidera

Pogonski dio čini motor s unutrašnjim izgaranjem, najčešće četverotaktni diesel motor. Sustavom transmisije se prenosi snaga od motora na sve kotača. Cilj sustava prijenosa snage je povećanje zakretnog momenta koji se ostvaruje na kotaču. Proučavanjem trenutnog razvoja i proizvodnje skidera u svijetu, dolazi se do zaključka da većina skidera koristi mehaničku transmisiju. Sustav transmisije se sastoji od spojke, mjenjača, razdjelnika pogona, diferencijala na svakoj osovini te planetarnog ili završnog reduktora na svakom kotaču (slika 1). Novija tehnička rješenja donose potpunu hidrostatsku ili djelomičnu hidrostatsko-mehaničku transmisiju - skider Woody (Košir i Lipoglavšek, 1999).

Kabina se skidera izvodi sa zaštitnim konstrukcijama (zaštitni okvir i zaštitna mreža) koja, u svrhu sigurnosti vozača pri prevrtanju vozila ili udaru predmeta (grana, trupac), mora zadovoljiti stroge kriterije određene ISO standardima. Na prednjem kraju vozila se nalazi odzivna daska, koja služi za uhrapavanje drvnih sortimenata na stovarištu, uklanjanje prepreka ili za popravak traktorskih vlakova.

Odabir se vitla vrši na osnovu potrebite nazivne vučne sile i ukupne težine vozila. Nazivna vučna sila vitla u pravilu ne premašuje težinu vozila. Spuštanjem u tlo zadnje daske (sidrenje skidera) moguće je ostvariti veće vučne sile vitla od težine skidera. Pogon vitla može biti mehanički ili hidraulički. Prijenos snage na vitlo se vrši vratilom izvedenim najčešće iz razdjelnika pogona prema samom vitlu kod mehaničkog pogona ili prema hidrauličnoj pumpi kod hidrauličnog pogona (slika 2).



Slika 2. Kinematička shema hidrauličkog pogona vitla

Svi traktori i skidéri opremljeni vitlom moraju imati prihvatno-zaštitnu dasku, koja je samo kod prorednih skidera te nekih velikih skidera i sidrena daska. Skupina velikih skidera u principu nema izvedbu sidrene daske zbog svoje velike težine. Mogućnost spuštavanja zadnje daske (sidrenje) se upotrebljava prilikom privitlavanja, s ciljem stabilnosti traktora pri ostvarivanju najvećih vučnih sila vitla. Zadnja daska se naziva prihvatno-zaštitna daska jer se na kraju privitlavanja na njoj prihvaćaju trupci i odiže se prednji kraj trupaca od tla, a pri privlačenju (vožnji traktora po šumskoj vlaci od sječine do pomoćnog stovarišta) vrši zaštitu kotača i zadnje osovine traktora.

Osnovni dijelovi vitla su bubanj, vodilice užeta (horizontalni i vertikalni valjci ili koloture) i kućište vitla. Broj okretaja ulaznog vratila je prevelik za pokretanje bubnja te se zbog toga u vitlu vrši redukcija broja okretaja pužnim prijenosom. Bubanj se sastoji od oboda, valjka i osovine valjka. Na bubanj se namata uža. Duljina namotanog užeta ovisit će o dimenzijama bubnja i odabranom promjeru užeta. Valjci vitla (horizontalni i vertikalni) predstavljaju vodilice užeta te omogućuju lakše izvlačenje užeta i namatanje užeta na bubanj, prvenstveno prilikom privitlavanja trupaca pri određenom kutu od uzdužne osi traktora (slika 4). Također, predstavljaju točke djelovanja vertikalne sile iz užeta na zadnju osovinu vozila. S obzirom na broj bubnjeva, razlikuju se jednobubanjska i višebubanjska vitla. Jednobubanjska vitla se koriste pri deblovnoj i stablovnoj metodi izradbe drva gdje je u tovaru mali broj komada drva. Dvobubanjska vitla (slika 3) omogućavaju vezanje tovara od većeg broja komada drva što je vrlo učinkovito kod sortimentne metode izradbe drva ili pri radu u prorednim sječinama, kada se privlači drvni sortimenti ili dijelovi stabla manjih dimenzija.

Osnovne su komande vitla spojka i kočnica. Uključivanjem spojke koja može biti frikcijska (konus, disk, traka), klizna zupčanička itd. omogućujemo prijenos snage na vitlo -

privitlavanje. Kočnice su vitla najčešće bubanj, disk ili traka, a uključujemo ih nakon što su trupci privitlani do prihvatno-zaštitne-sidrene daske te je odignut prednji kraj trupaca. Time blokiramo bubanj i zakočimo uže te skider tada vrši privlačenje trupaca iz sječine do pomoćnog stovarišta. Upravljanje vitlom može biti mehaničko, hidrauličko ili daljinsko. Pri daljinskom upravljanju je obavezna sidrena daska.



Slika 3. Dvobubanjско vitlo



Slika 4. Valjci vitla

Radni turnus skidera čini vožnja od pomoćnog stovarišta do sječine, okretanje vozila i vezanje tovara te privlačenje trupaca vozilom do stovarišta. Prednost skidera s vitlom je da vozilo ne treba doći do svakog izrađenog sortimenta već s određene udaljenosti može privitlati po tlu drvni sortiment do zadnje zaštitno prihvatne daske. Ovom tehnologijom rada, omogućuje se kretanje skidera isključivo po sekundarnim šumskim prometnicama.

Na razinu proizvodnosti skidera djeluju slijedeći utjecajni čimbenici: tehničko-tehnološke značajke vozila, udaljenost izvoženja drva, vrsta drveta i dimenzije izrađene oblovine, sječna gustoća, nagib terena, površinske prepreke, uvjeti nosivosti podloge, dubina snijega, otvorenost sječina sekundarnom mrežom šumskih prometnica, potreba za razvrstavanjem sortimenata na pomoćnom stovarištu te vještina rukovatelja (Šušnjar, 2005).

2. Povijesni razvoj skidera

Povijesni razvoj skidera započinje već 1881. godine i to razvojem skidera na parni pogon. "Dolber i Carson Lumber Co. (Kalifornija)", prvi patentiraju skider s parnim pogonom, po imenu "Gypsy". Skider je sastavljen od vertikalnog cilindričnog kotla za proizvodnju pare koji se zagrijavao loženjem drva pri čemu je para opskrbljivala cilindre za pokretanje kotača skider, a drva su se privlačila pomoću užeta. Razvojem motora s unutrašnjim izgaranjem započinje njihova ugradnja i u skidere. Godine 1924. napravljen je prvi skider s pogonom na sva četiri kotača tzv. "Duplex" koji je na stražnjem kraju ima dodatno uže za pomoć pri vožnji u skliskim uvjetima. Godine 1943. "Hyster" razvija skider "Caterpillar D7" s vitlom za privlačenje. Prvi značajan uspjeh upotrebe skidera pri privlačenju drva iz šume do ceste, postigao je "Harrison Pulpwood" 1950. godine. Prvi skider s prednjim pogonom bio je "Blue Ox", 1952. godine kanadske tvrtke "KVP" s vitlom i "A-frame" konstrukcijom. Tvrtka "Timberland Machines" godine 1956. proizvodi skider imena "Timberskidder". Bio je to najpopularniji skider u svijetu za privlačenje drva. Pokretao ga je "Chrysler-ov" V8 benzinski motor s 200 KS, a bio je vrlo efikasan za privlačenje drva na velike udaljenosti. "Osa" i "Volvo" proizvode seriju skidera, 1960. godine imena "Little Bear" s kabinom i hidrauličkim amortizerima. Skider "Log All Feller" iz 1968. godine je prvi skider koji osim privlačenja ima funkciju sječe drva pomoću pile koja je bila sastavni dio vozila dok je model "Timberjack 480" iz 1990. godine prvi skider s hvatalom koji je uz hvatanje drva mogao svladavati neke od najstrmijih terena (Gregov 2012).

Korištenje skidera u Hrvatskoj započinje 1968. godine. U prigorskim i brdskim predjelima Hrvatske za privlačenje drva prvenstveno se upotrebljavaju skideri s kotačima opremljeni vitlom. Danas u Hrvatskoj radi oko 300 skidera, veći dio u vlasništvu "Hrvatskih šuma" d.o.o Zagreb, a preostali u vlasništvu privatnih poduzetnika (Beuk i dr. 2007). Od ukupnog broja skidera, pedesetak pripada u skupinu srednjih skidera do 5 tona. Srednji skideri su namijenjeni za privlačenje drva iz prorednih sastojina te se odlikuju malim dimenzijama i velikom okretljivošću.

Tijekom 80-ih godina prošlog stoljeća zajedničkim radom šumarskih stručnjaka i znanstvenika, započela je konstrukcija i domaća proizvodnja prorednog i velikog skidera s ciljem zamjene adaptiranih poljoprivrednih traktora prikladnim mehaniziranim sredstvom za radove privlačenja drva. U mehaničarskoj radionici tadašnjeg šumskog gospodarstva

Vrbovsko, proizvedeno je 10 komada skidera SILVA S-101 koji spadaju u skupinu velikih skidera. Proizvodnja domaćeg prorednog skidera ECOTRAC V započela je u tvornici "Tomo Vinković" - Bjelovar, a nakon prestanka proizvodnje u 90-im, obnovljena je njihova proizvodnja u tvornici "Metalservis" - Bjelovar, koja se danas naziva "Hittner" - Bjelovar. "Hittner" danas uspješno proizvodi dva modela skidera: model ECOTRAC 55V ukupne mase 3,6 t koji spada u skupinu srednjih skidera i model ECOTRAC 120V ukupne mase 7,2 t koji spada u skupinu velikih skidera.

Godine 1999. započinje razvoj srednjeg skidera u tvrtki "3. MAJ – TIBO" - Rijeka, kao unaprjeđenje srednjeg skidera ECOTRAC V (slika 5a). Godine 2002. proizveden je skider TIBOTRAC (slika 5b), a njegova sljedeća generacija predstavljena je 2005. godine. Uz to TIBOTRAC je prvi hrvatski skider na biodizelsko gorivo (Sever i Puljak, 2005).



a



b

Slika 5. Skider ECOTRAC 120V (a) i Skider TIBOTRAC (b)

Trenutno su u stalnom proizvodnom ciklusu samo dva modela skidera tvrtke "Hittner", i to oba s mehaničkom transmisijom. Iako se u Hrvatskoj ne proizvode skideri s hidrostatskom transmisijom, u susjednoj Sloveniji je razvijen i proizveden skider WOODY s hidrostatskom transmisijom i daljinskim upravljanjem (Marenče, 2005).

3. Problematika istraživanja

Sustav prijenosa momenta i brzine vrtnje od pogonskog motora na kotače vozila naziva se transmisija. Ovisno o vrsti prijenosnika snage, razlikuju se i vrste transmisije (mehanička, hidrostatska, itd.).

Pod pojmom prijenosnika snage podrazumijeva se strojni sklop između pogonskog i radnog stroja sastavljen od najmanje tri člana koji obavljaju transformaciju gibanja i energije pogonskog stroja, prilagođenih radnom stroju, a na čije sve glavne članove djeluju konačni okretni momenti (Opalić, 1998). Prema načinu prijenosa okretnog momenta razlikujemo sljedeće prijenosnike: **mehanički prijenosnici** kod kojih se moment prenosi mehanički na dva osnovna načina, trenjem i oblikom s neposrednim i posrednim dodirnom pogonskog i gonjenog člana, **hidraulički i pneumatski prijenosnici** kod kojih se okretni moment prenosi uz pomoć tekućina odnosno plinova (većinom pod tlakom) i **električni prijenosnici** kod kojih se okretni moment prenosi električnim putem. Hidraulički prijenosnici razlikuju se ovisno o načinu pretvorbe energije. Tako razlikujemo hidrostatske prijenosnike koji prenose snagu putem potencijalne energije te hidrodinamičke prijenosnike koji prenose snagu putem kinetičke energije tekućine. Također se pod nazivom hidrostatski ili hidraulički sustavi podrazumijevaju sustavi koji za radnu tekućinu koriste ulje (uljna hidraulika). Ugradnjom prijenosnika snage u vozila ostvaruje se optimalan rad motora s unutrašnjim izgaranjem u svim režimima vožnje vozila odnosno promjenom prijenosnog omjera između izlaznog vratila pogonskog motora i kotača vozila ostvaruje se potreban moment i brzina vrtnje na kotaču uz optimalni moment i brzinu vrtnje motora s unutrašnjim izgaranjem.

3.1 Mehanička transmisija

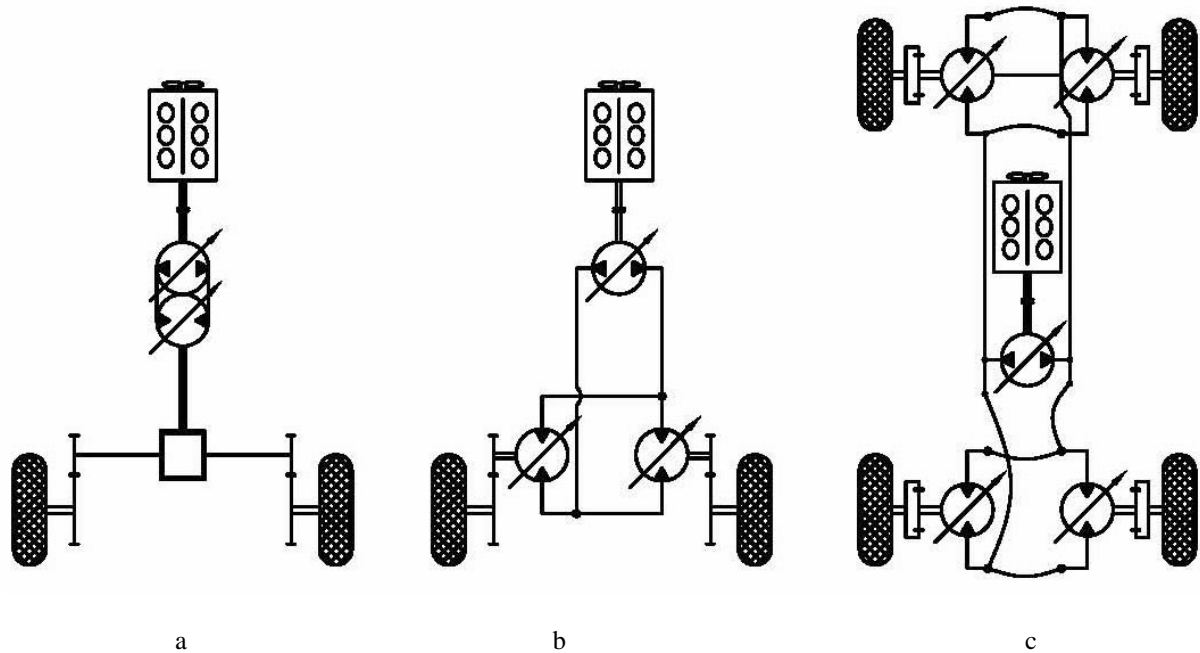
Klasična mehanička transmisija sastavljen je od mehaničke spojke, mjenjača, pogonske osovine, razvodnika pogona i diferencijala koji služi za prijenos momenta pogonskog motora na kotače vozila. Promjena prijenosnog omjera mjenjača može biti ručna ili automatska. Kod klasičnog ručnog mjenjača, vozač odvaja pogonski motor od mjenjača pomoću spojke pritiskom na papučicu, pomicanjem ručice mjenjača odabire određeni prijenosni omjer (brzinu) te otpuštanjem papučice spojke opet spaja pogonski motor i mjenjač. Osim mjenjača moment se pogonskog motora još mijenja pomoću diferencijala i planetarnih reduktora ugrađenih u kotačima vozila. Zbog mjenjača koji radi na principu zupčastog prijenosa, kod mehaničke transmisije javlja se skokovita promjena prijenosnog omjera. Ako se mehanička

transmisija usporedi s drugim vrstama transmisije tada ima prednosti kao što su relativno jednostavna konstrukcija, lagano održavanje i upravljanje te relativno nisku cijenu. Nedostaci mehaničke transmisije su mali omjer snage po jedinici mase, dimenzije su joj ograničene te ima vrlo slabu mogućnost regulacije.

3.2 Hidrostatska transmisija

Uređaji pomoću kojih se prenosi snaga od pogonskog do radnog stroja, a koji rade na principima hidrostatičke zovu se hidrostatski prijenosnici. Hidrostatski prijenosnici se koriste kod mobilnih, industrijskih i zrakoplovnih sustava gdje je potrebno ostvariti velike snage s uređajima malih dimenzija. Ovakvi sustavi su jednostavni, imaju pouzdanu kontrolu, fleksibilnost, izvrsne dinamičke karakteristike i dobru učinkovitost te mogućnost linearnog/rotacijskog gibanja s velikim silama/momentima. Iz ovog je vidljiva jasna prednost u odnosu na druge vrste prijenosa kao što su mehanički ili električni. Kao transmisija na vozilima hidrostatski prijenosnik ima brojne prednosti. Promjena brzine je kontinuirana, jednostavno je upravljanje ima jednostavnu promjenu smjera gibanja, brzina je za oba dva smjera gibanja ista, a elementi se podmazuju pomoću radne tekućine. Nadalje, postoji konstrukcijska sloboda kod slaganja hidrauličkih elemenata u prostoru jer se veza između pumpe i hidromotora u kotačima ostvaruje pomoću krutih ili elastičnih cijevi, bez obzira na njihov relativni položaj. Također je moguće ostvariti kontinuirano varijabilnu transmisiju unutar cijelog radnog područja pri čemu se ostvaruju optimalni prijenosni omjeri između pogonskog motora i kotača što smanjuje potrošnju goriva i povećava dinamičke performanse. Nedostaci su nešto niži stupnjevi iskoristivosti u odnosu na mehaničke prijenosnike što je posebno izraženo kod maksimalnog tlaka sustava te minimalnog volumena hidromotora ili pumpe. Nedostaci svih hidrostatskih sustava su kompresibilnost radne tekućine, promjena viskoziteta radne tekućine s promjenom temperature i tlaka te visoki zahtjevi za čistoćom radne tekućine. Iz navedenih nedostataka se može zaključiti da je većina negativnih karakteristika hidrostatskih sustava vezana uz radnu tekućinu (ulje). Hidrostatska transmisija se kao i svi ostali hidrostatski sustavi temelji na Pascalovom zakonu. Kod transmisije vozila najčešće se koristi zatvorena izvedba hidrostatskog sustava (hidrostatski mjenjač). Pogon kotača vozila s hidrostatskom transmisijom konstrukcijski se može izvesti na nekoliko načina. Prvi način, a ujedno i najjednostavniji je konstrukcija pumpe i hidromotora u istom kućištu (slika 6a) pri čemu se pogonski moment odvodi na kotače preko diferencijala s dodatnom redukcijom u kotačima. Drugi način je s pumpom koja pogoni dva hidromotora vezanih na

reduktore kotača (pogon vozila na dva kotača), (slika 6b) a treći način je onaj koji se koristi za pogon vozila na sva četiri kotača pri čemu pumpa pogoni hidromotore ugrađene u kotače vozila s planetarnim reduktorom (slika 6c).



Slika 6. Pogon kotača vozila sa hidrostatskom transmisijom

Iz navedenih konstrukcijskih varijanti pogona kotača s hidrostatskom transmisijom, vidljiva je kombinacija hidrostatskog prijenosnika s mehaničkim prijenosnicima. Kod hidrostatske transmisije, hidrostatski prijenosnik je skoro uvijek u kombinaciji s nekim mehaničkim prijenosnikom. Razlog tome je dodatno povećanje prijenosnog omjera između pogonskog motora i kotača te povećanje iskoristivosti, a iz čega proizlaze razna konstrukcijska rješenja hidrostatsko-mehaničke transmisije.

Kod radnih vozila kao što su vozila za zemljane radove, poljoprivredna vozila, šumska vozila te industrijske i rudarske dizalice, zahtijeva se visoka produktivnost s visokim stupnjem iskoristivosti pri širokom rasponu brzina vrtnje. Navedene kriterije najbolje ispunjava hidrostatska transmisija pomoću koje se ostvaruju veliki momenti pri malim brzinama vrtnje te kontinuirana promjena prijenosnog omjera. Međutim, kod većih brzina vrtnje, hidrostatska transmisija ima manji stupanj iskoristivosti zbog viskoznog trenja, pada tlaka kroz hidrauličke elemente te relativno malog momenta (Gregov 2012). U cilju povećanja ukupne učinkovitosti pri većim brzinama vrtnje razvija se hidrostatsko-mehanička transmisija. Pri nižim brzinama vrtnje snaga se prenosi preko hidrostatskog prijenosnika zbog njegove dobre upravljivosti, a

kod viših brzina vrtnje koristi se mehanički prijenosnik zbog njegovog velikog stupnja iskoristivosti.

3.3 Transmisija skidera

Proučavanjem povijesnog razvoja te trenutnog razvoja i proizvodnje skidera u svijetu i Republici Hrvatskoj, dolazi se do zaključka da većina skidera koristi mehaničku transmisiju. Glavni nedostaci mehaničke transmisije su skokovita promjena prijenosnog omjera zbog mjenjača koji radi na principu zupčastog prijenosa, mali omjer snage po jedinici mase, slaba fleksibilnost i nemogućnost regulacije što direktno utječe na proklizavanje kotača skidera te sabijanje šumskog tla. Arnup (1998) navodi da je kod klizanja kotača dodirni tlak na tlo do pet puta veći nego nominalni tlak. Veće sabijanje tla kod pojave klizanja kotača se može objasniti dugotrajnim djelovanjem pritiska na istoj površini tla. Smanjenje klizanja kotača postiže se uporabom lanaca na kotačima, sustavom protiv proklizavanja ili pomoću hidrostatske transmisije pri čemu se usklađuje zakretni moment i brzina vrtnje svakog kotača. Navedeni nedostaci se mogu eliminirati korištenjem hidrostatske transmisije pomoću koje se ostvaruju velike snage/momenti s uređajima malih dimenzija te kontinuirano varijabilna transmisija unutar cijelog radnog područja, pri čemu pogonski motor radi u optimalnim uvjetima čime se postiže manja potrošnja goriva te smanjenje emisije ispušnih plinova. Naglasak na toj činjenici je upravo danas u vrijeme povećane skrbi o uštedi energenata te zaštite okoliša smanjenjem emisije štetnih plinova (CO_2 i NO_x). Sljedeća prednost korištenja hidrostatske transmisije kod šumskih vozila je manje proklizavanja kotača. Kod hidrostatske transmisije moguća je preciznija regulacija brzine vrtnje s obzirom na zahtijevani moment na kotačima nego što je to slučaj kod mehaničke transmisije. Hidrostatskom transmisijom se mogu ostvariti veliki momenti pri malim brzinama vrtnje što utječe na smanjenje proklizavanja kotača skidera te rezultira manjim sabijanjem šumskog tla.

Skider je uglavnom namijenjen za vožnju šumskim tlom što predstavlja najveći izazov kod konstruiranja hidrostatske transmisije. Razlog tome je što osim nagiba koje vozilo mora svladati postoji neravna površinska struktura šumskog tla s udubinama, izbočinama i preprekama. Zbog toga se javlja nejednoliki moment opterećenja na kotačima skidera što direktno utječe na nejednoliko opterećenje hidrostatske transmisije

Skidere s hidrostatskom transmisijom počinju razvijati dvije kanadske tvrtke. Prva je "Tigercat Industries of Brantfors (Ontario)" sa svojim prvim modelom skidera 620 s

hidrostatskim pogonom na sva četiri kotača. Model 620 pokreće Cummins 6CT 8.3 dizelski motor od 215 KS s Bosch Rexroth hidrostatskim sustavom. Današnji Tigercat skideri (slika 7) koriste hidrostatsku transmisiju s elektroničkom regulacijom te na principu hibridnih vozila akumuliraju energiju prilikom kočenja. Druga Kanadska tvrtka koja se bavi razvojem skidera s hidrostatskom transmisijom je "Morgan Silva Com (British Columbia)" današnjeg naziva "International Silvatech Industries". Silvatech skideri koriste hidrauličku transmisiju s patentiranim računalnim upravljanjem (*hydraulic logic box*). Takvi skideri imaju pogon na sva četiri kotača pri čemu svaki kotač ima zasebnu varijabilnu hidrauličku pumpu koja opskrbljuje hidromotor što reducira klizanje kotača te osigurava dobar kontakt kotača i tla pri svim vremenskim uvjetima. Osim navedenih tvrtki hidrostatska transmisija se koristi i u skiderima tvrtke "Kootenay Manufacturing" te harvesterima tvrtke "Komatsu Forest" (Carlsson, 2006). U Hrvatskoj se trenutno proizvode samo dva modela skidera tvrtke "Hittner", i to oba s mehaničkom transmisijom. Iako se u Hrvatskoj ne proizvode skideri s hidrostatskom transmisijom, u susjednoj Sloveniji je razvijen i proizveden skider WOODY s hidrostatskom transmisijom i daljinskim upravljanjem (Košir i Marenče, 2008). Hidrostatskom transmisijom se upravlja pomoću računala koje omogućuje kontrolu i regulaciju pedeset različitih parametara. Računalo za vrijeme vožnje samostalno kontrolira brzinu, ubrzanje i kočenje skidera ovisno o broju okretaja motora i položaju papučice gasa što daje idealni omjer brzine i momenta opterećenog skidera (slika 8).



Slika 7. Skider Tigercat 630D



Slika 8. Skider WOODY 110

3.4. Klizanje kotača

Vučna značajka pokazuje ovisnost klizanja, vučne snage i stvarne brzine o vučnoj sili. Ovisno o stanju podloge (otpornosti šumskog tla na sabijanje i smicanje) ostvariti će se trakcija kotača sa šumskim tlom. Po obodu gumenih kotača smještena su rebra sa svrhom da se zasijecaju u tlo, prenoseći zakretni moment (obodnu silu) na tlo. Na stražnjim bočnim površinama rebra gume pojavljuje se pritisak na tlo u smjeru obrnutom od kretanja vozila. Ukoliko tlo nema dovoljnu posmičnu čvrstoću, tlak na rebrima gume će uzrokovati pomicanje tla prema nazad, tj. klizanje kotača. Istovremeno rebra gume imaju utjecaj na povećanje vučne sile jer povećavaju polumjer kotača te time smanjuju otpor kotrljanja.

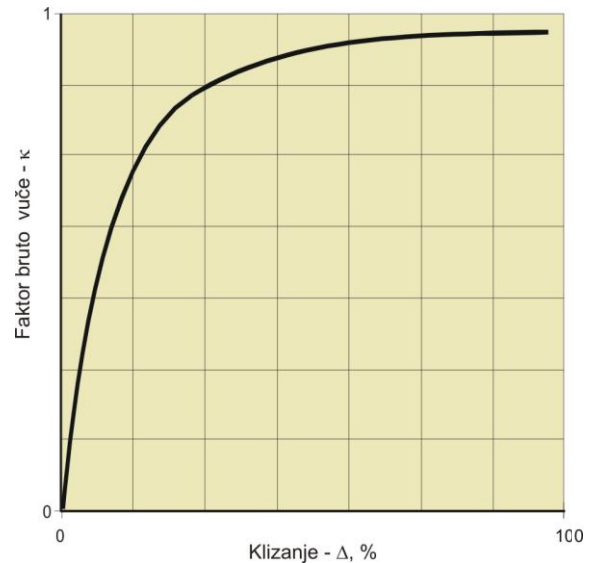
Klizanje kotača je pojava prisutna kod svih vozila, a pogotovo kod vozila opremljenih gumenim kotačima (Sever 1980). Isti autor navodi da je klizanje kotača pri uporabi kotačnih vozila za privlačenje drva, njihov najčešći ograničavajući čimbenik za ostvarivanje potrebne vučne sile. Samo klizanje kao pojava, ne ograničava potrebnu vučnu silu, već predstavlja energijski gubitak koji smanjuje brzinu kretanja vozila (Horvat 1993A), a time i učinkovitost radnog sredstva.

Klizanje je kotača nemoguće izbjeći stoga što se trakcija kotača s tlom odvija na temelju posmičnog opterećenja u tlu. Klizanje je kotača pri privlačenju drva skiderom ograničavajući čimbenik za ostvarivanje potrebne vučne sile. Sever (1980) iznosi zaključke o odnosu klizanja i vučne sile: ne postoji klizanje bez postojanja vučne sile, niti vučna sila bez klizanja. I kod najmanje obodne sile na kotaču pojavljuje se klizanje. Kod nekog postotka klizanja javlja se granična veličina vučne sile. Isti autor ustanovljava granični postotak klizanja od 40 % pri čemu je zabilježen faktor neto vuče od 0,3. Saarilahti (2002) također navodi granični postotak klizanja od 40 %, dok pri većim postocima klizanja utvrđuje nagli pad efektivne energije na kotaču i veća oštećenja tla.

Samo klizanje kao pojava, ne ograničava potrebnu obodnu odnosno vučnu silu, već predstavlja energijski gubitak koji smanjuje brzinu kretanja vozila (Horvat 1993A), a time i učinkovitost radnog sredstva.

Sever (1980) iznosi zaključke o odnosu klizanja i vučne sile: ne postoji klizanje bez postojanja vučne sile, niti vučna sila bez klizanja. I kod najmanje obodne sile na kotaču pojavljuje se klizanje. Kod nekog postotka klizanja javlja se granična veličina vučne sile.

Klizanje kotača ovisi o ostvarenoj vučnoj sili te dinamičkom opterećenju traktora, a najčešće se prikazuje preko krivulje $\delta - \kappa$ (klizanje - faktor bruto vuče) koja se naziva krivulja klizanja kotača (slika 10). Ova se ovisnost uobičajeno prikazuje s ovakvim rasporedom sila na koordinatnim osima zbog načina ostvarivanja faktora bruto vuče, odnosno obodne sile posmičnim naprežanjem tla (Horvat 1993).



Slika 9. Krivulja klizanja kotača

Kod nekog postotka klizanja javlja se granična veličina vučne sile. Isti autor ustanovljava granični postotak klizanja od 40 % pri čemu je zabilježen faktor neto vuče od 0,3. Saarilahti (2002) također navodi granični postotak klizanja od 40 %, dok pri većim postocima klizanja utvrđuje nagli pad efektivne energije na kotaču i veća oštećenja tla.

Klizanje se izražava kao relativni broj ili u obliku postotka. Izračunava se na osnovu stvarne brzine kretanja vozila (v_s) i teoretske brzine (v_t) s obzirom na broj okretaja doveden sustavom transmisije na kotač. Stvarna brzina kretanja određuje se na osnovu prijeđenog puta u jedinici vremena, a teoretska mjerenjem broja okretaja na motoru ili na nekom od vratila u sustavu transmisije, uz poznavanje prijenosnih odnosa sustava.

$$\delta = \frac{v_t - v_s}{v_t} = 1 - \frac{v_s}{v_t}$$

$$1 - \delta = \frac{v_s}{v_t}$$

Drugi način određivanja klizanja kotača je na osnovu broja okretaja pogonskih kotača. Pri istraživanju rada skidera u eksploatacijskim uvjetima, prije početka testiranja potrebno je izvršiti vučni pokus na šumskom tlu s ciljem određivanja faktora kotrljanja i broja okretaja pogonskih kotača u terenskim uvjetima kada se ne ostvaruje vučna sila na kotaču. Vučnim pokusom se smatra povlačenje skidera u praznom hodu ili s neutralnim položajem transmisije te s dinamometrom učvršćenim između skidera i vozila koje ga vuče (Hassan 1989).

$$\delta = \frac{n - n_0}{n_0}$$

n – broj okretaja pogonskog kotača (okretaji/m)

n_0 – broj okretaja pogonskog kotača u vučnom pokusu (okretaji/m)

Sever i dr. (1997) istraživali su klizanje kotača adaptiranih poljoprivrednih traktora pri kretanju po šumskoj vlaci uz nagib i niz nagib, s tri različite veličine tovara na suhom i mokrom tlu, sa i bez lanaca na kotačima. Zaključuju da je klizanje kotača ograničavajući čimbenik kretanja na mokrom tlu, a stabilnost traktora na suhom tlu. Klizanje se povećava s veličinom tovara, a pri privlačenju niz nagib, klizanje je negativno.

Klizanje kotača utječe na nastanak kolotruga i sabijanje tla. Arnup (1998) navodi da je kod klizanja kotača dodirni tlak na tlo do pet puta veći nego nominalni tlak. Veće sabijanje tla kod pojave klizanja kotača se može objasniti dugotrajnijim djelovanjem pritiska kotača na istoj površini tla. Smanjenje klizanja kotača postiže se uporabom lanaca na kotačima, kontrolom blokade diferencijala, sustavom protiv proklizavanja (Meek 1996) ili pomoću hidrostatske ili mehaničko-hidrostatske transmisije (Rieppo i dr. 2002) kako bi se uskladio zakretni moment i potrebna vučna sila.

Sever i dr. (1997) su ustanovili negativno klizanje kotača pri privlačenju drva skiderom niz nagib osim u slučajevima malog nagiba terena i uporabe lanaca na kotačima. Marenče (Marenče, 2005) isto tako bilježi negativne vrijednosti klizanja pri privlačenju drva skiderom niz nagib. Jedino kod privlačenja tovara obujma većih od 5 m³ pri nagibima manjim od 20 % uočava pozitivne vrijednosti klizanja zbog većih opterećenja na kotačima. Općenito se može reći da se, pri istim uvjetima pri privlačenju uz nagib, klizanje kotača povećava s povećanjem težine tovara, a pri privlačenju niz nagib su manje negativne vrijednosti klizanja s povećanjem težine tovara. Pri privlačenju niz nagib najvažnije je izbjegavati blokiranje kotača, što dovodi do potpunog proklizavanja vozila, o čemu vozač stalno mora voditi računa. Zbog klizanja kotača dolazi do smanjenja stvarne brzine tj. kotač se okreće s obzirom na broj okretaja prenesen sustavom transmisije od pogonskog motora, ali je zbog klizanja brzina kretanja skidera manja. Pri stopostotnom klizanju traktor se ne premješta, njegova brzina premještanja je jednaka nuli.

4. Cilj istraživanja

Cilj istraživanja je usporedba klizanja kotača dva različita skidera pri jednakim uvjetima privlačenja (jednaki tovari i nagibi traktorskog puta i šumske vlake). Usporedba klizanja kotača provest će se na skiderima različitih sustava prijenosa snage. Prvi skider u istraživanju je ECOTRAC 120 V, hrvatskog proizvođača Hittner d.o.o. sa mehaničkom transmisijom, a drugi skider je slovenske proizvodnje WOODY 110 s hidrostatskom transmisijom. Oba istraživan skidera pripadaju u istu skupinu srednjih skidera, točnije podjednake su mase, koja iznosi oko 7,2 tone.

Osnova za usporedbu klizanja kotača navedenih skidera su prijašnja provedena istraživanja vučnih značajki skidera ECOTRAC 120 V (Šušnjar 2005) te skidera WOODY 110 (Marenče 2005).

5. Tehničke karakteristike skidera

U istraživanju su korištena dva tipa skidera: skider ECOTRAC 120 V, hrvatskog proizvođača Hittner d.o.o. te skider slovenske proizvodnje WOODY 110 (VILPO d.o.o. Ljubljana).

Osnovne su tehničke značajke skidera ECOTRAC 120 V (Horvat i Šušnjar 2005A):

⇒ Masa skidera s vozačem iznosi 7257 kg (59 % na prednjoj osovini te 41 % na stražnjoj osovini).

⇒ Najveća dopuštena masa na zadnjoj osovini skidera iznosi 6000 kg.

⇒ Motor DEUTZ, F6L914, diesel, hlađen zrakom, 6 rednih cilindara, stapajnoga obujma 6472 cm³, stupnja kompresije 20:1, nazivne snage 84 kW pri 2300.min⁻¹ te najvećega zakretnoga momenta od 400 Nm pri 1500 min⁻¹, elastičnost po momentu iznosi 14,7 %. Jedinična potrošnja goriva iznosi 150 g/kWh kod najvećeg zakretnog momenta odnosno 210 g/kWh kod nazivne snage.

⇒ Prijenos se snage obavlja klasičnom transmisijom: pogonski motor → spojka (lamela promjera 310 mm) → mehanički mjenjač → razdjelnik pogona → prednji i stražnji diferencijali (konusno-tanjurasti par zupčanika) s pojedinačnom blokadom → završni (planetarni) reduktori u kotačima traktora.

⇒ Mjenjač je s 5 stupnjeva prijenosa naprijed i 1 natrag uz mjenjač za brzi i spori hod. Ukupni broj prijenosa 10 prema naprijed, 2 prema natrag. Najveća je brzina kretanja 30 km/h. Upravljanje je hidraulično preko servoupravljača (Sauer-Danfoss).

⇒ Kočnice su hidraulično-mehaničke, radne kočnice su zatvorene lamele u ulju, parkirne kočioni disk s kliještima.

⇒ Vitlo je dvobubanjско, Hittner 2 x 80, nazivne vučne sile od 80.kN. Vitlo ima hidraulički pogon (Sauer-Danfoss), pužni prijenos snage u vitlu za namatanje i izvlačenje užeta,



Slika 10. Skider ECOTRAC 120 V

spojka je konusno-tarna, kočnica vitla pojasna. Upravljanje je elektrohidraulično preko joysticka i prekidača na palici joysticka i upravljačkoj kutiji. Nazivna brzina privitlavanja 1,26 m/s.

- ⇒ Zadnja daska je prihvatna, zaštitna i sidrena, s mogućnošću podizanja i spuštanja pomoću dva hidraulična cilindra. Prednja daska je pomična, širine 2230 mm, upravljana hidraulično. Namijenjena je za uhrpavanje oblovine na pomoćnome stovarištu.
- ⇒ Prednje i stražnje gume istih su dimenzija 16.9-30, broj vlakana 14 PR, najveći tlak zraka u gumama - 2,5 bara, nosivost gume - 3000 kg, proizvođač Rumaguma.
- ⇒ Električni sustav napona 24 V osiguravaju dva akumulatora, svaki napona 12 V i kapaciteta.125 Ah.
- ⇒ Skider ECOTRAC 120 V opremljen je zaštitnom strukturom od prevrtanja vozila (eng. ROPS - Roll-over protective structure), zaštitnom strukturom od pada predmeta (eng. FOPS - Falling object protective structure) te zaštitnom strukturom kabine tj zaštitnom mrežom (eng. OPS - Operative protective structure). Kabina je prostrana te zadovoljava ergonomske i sigurnosne odrednice ISO normi (Horvat i Šušnjar 2005B).

Osnovne su tehničke značajke skidera Skider WOODY 110 (Marenče 2005):

- ⇒ Dimenzije: dužina 5700mm, širina 2100mm sa gumama 500/60-26.5, visina 2860mm
- ⇒ Masa praznog vozila: 72 000 N
- ⇒ Motor: Perkinson, četverocilindrični s turbopunjačem, vodom hlađeni motor sa 76,5 kW pri 2200 o/min



Slika 11. Skider WOODY 110

- ⇒ Transmisija pogona: hidrostatsko mehanička transmisija SAUER-SUNDSTRAND, od motora sa unutarnjim sagorijevanjem slijedi razdjelna osovina za pumpe na koju su vezane pumpa za pogon traktora, pumpa za

pogon vitla te pumpa za radnu hidrauliku. Slijede hidraulične cijevi za prijenos snage do hidromotora koji preko poluosovina prenosi snagu do planetarnih reduktora na kotačima. Klasični mjenjač nije potreban nego je moguće izabrati između dva režima rada. Transmisija je računalno upravljana, a pogon je na sva 4 kotača.

- ⇒ Osi: DANA_HURTH sa samoblokirajućim diferencijalom i opružnim lamelarnim kočnicama te ugrađenom parkirnom kočnicom u opružni cilindar
- ⇒ Brzinske mogućnosti: dva režima, 0-15 za radni način i 0-30 km/h za cestovnu vožnju
- ⇒ Okvir: dvodjelni, metalna konstrukcija, sa rotirajućim koljenastim zglobom sa kutom skretanja od +/- 40 stupnjeva i rotiranja +/-16, sa radijusom okretanja od 4400mm
- ⇒ Vitlo: dvobubanjno vitlo 2x80 kN, elektrohidraulično upravljanje, upravljanje radio-vezom,
- ⇒ Kočnice: lamelarne uljne kočnice na prednjoj i stražnjoj osovini upravljane nožnom pedalom i servo cilindrom
- ⇒ Gume: standard 500/60-26.5 // 600/55-26.5 (širina stroja 2300mm)//14.9/13-28 (širina stroja 2000mm)
- ⇒ Dodatna oprema: upravljanje radio vezom

Cijeli proces rada traktora Woody 110 se vodi računalno, programom se regulira više parametara odjednom te se tako sprečava preopterećenje pojedinih komponenti stroja. Rad sa tako vođenim strojem je sa ergonomskog stajališta bolji, a prije svega sigurniji. (Marenče, 2005.)

6. Metode mjerenja

Mjerenje klizanja kotača skidera ECOTRAC 120 V i WOODY 110 pri privlačenju drva na različitim nagibima traktorskog puta ili vlake izvršeno je u sklopu cjelovitog istraživanja vučnih značajki istraživanih skidera. Navedena istraživanja vučnih značajki skidera podrazumijevaju izmjeru više tehničkih značajki, za što je potrebno postaviti više različitih mjernih pretvornika na šumsko vozilo.

Za mjerenje predviđenih značajki vučne značajke skidera, konstruirana su ili primijenjena mjerila za istovremeno slijedećih veličina:

1. zakretni momenti na svakom kotaču, M (Nm),
2. opterećenja na na svakom kotaču, G_{ak} (kN),
3. broj okretaja svakog kotača, n ,
4. broj okretaja petog kotača, n_{5K} ,
5. horizontalna sastavnica sile u užetu, H (kN),
6. vertikalna sastavnica sile u užetu, V (kN),
7. vrijeme, t (s).

Na osnovu podataka izmjere navedenih veličina može se izvršiti proračun potrebnih tehničkih značajki skidera pri privlačenju drva kao što su: adhezijska težina skidera, vučna i obodna sila, faktori privlačenja, bruto i neto vuče te kotrljanja, dinamički polumjer kotača, sila u užetu i kut nagiba užeta, koeficijent raspodjele težine tovara, brzina kretanja skidera, klizanje kotača, obodna i vučna snaga te snaga kotrljanja i korisnost kotača.

Osnovna metoda mjerenja mehaničkih veličina je tenzometrija. Heidl i Husnjak (1992) tenzometriju opisuju kao metodu mehanike kojom se na konstrukciji ili modelu određuje duljinska deformacija, da bi se odredila naprezanja na površini konstrukcije. Pri tome se upotrebljavaju mjerni pretvornici na osnovi promjenjivog električnog otpora, do kojeg dolazi promjenom njegove duljine (tzv. elektrootporna mjerna traka ili "strain gauge"). Ovom metodom je omogućeno električno mjerenje neelektričnih veličina. Krulc (1969) navodi da takva mjerenja imaju prednosti pred mehaničkim i drugim mjerenjima zbog mogućnosti daljinskog prijenosa rezultata mjerenja, velike točnosti i osjetljivosti, mogućnosti jednostavnog i velikog povećanja mjerene veličine, visoke frekvencije mjernih uređaja, mogućnosti višekratnog prikazivanja, zapisivanja i spremanja rezultata mjerenja.

Primjena tenzometrijske metode omogućuje mjerenja bez narušavanja konstrukcije vozila, ali zahtijeva pretvorbu elemenata vozila u mjerila. Za iskazivanje vrijednosti mjerene veličine u njenoj osnovnoj mjernoj jedinici potrebno je umjeravanje elemenata mjerila.

Tenzometrijskom metodom koriste se Hassan i Gustafson (1983) s tvorničkim dinamometrima. Sever (1980) također koristi ovu metodu, pretvarajući tzv. prepariranjem završne reduktore u kotačima skidera, u mjerila momenata. Istim načinom momente u završnim reduktorima skidera mjere i Sever (1987) i Horvat (1987). Hassan (1988) tvrdi da je takav način jedini zabilježen. Horvat i dr. (1991) ugrađuju u stražnje mostove adaptiranog poljoprivrednog traktora prstenasta mjerila zakretnog momenta s tenzometrima. Horvat (1993A) također vrši pretvorbu dijelova forvardera za mjerenja zakretnih momenata na kotačima, okretaja kotača i vratila tenzometrijskom metodom pomoću mjernih traka. Glavni nedostatak ove metode je smještaj mjernih pojačala te računala za prikupljanje i snimanje podataka te su navedeni autori za njihov smještaj koristili terensko laboratorijsko vozilo koje se kretalo uz ispitivano šumsko vozilo. Na taj način su ograničeni uvjeti ispitivanja zbog potrebnog dovoljnog prostora za usporedno kretanje oba vozila kroz šumsku sastojinu. Tenzometrijsku metodu pri mjerenju zakretnih momenata u kotačima forvardera opisao je Marklund (1987) te Olsen i Wästerlund (1988). Umjesto klasičnog pojačanja mjernog signala u pojačalima, oni koriste računala s A/D pretvaračima u svakom kotaču forvardera, koji prikupljaju podatke. Povezani su s glavnim računalom u kabini forvardera koji, u određenim vremenskim intervalima, prikuplja i obrađuje podatke.

Mjerenje dinamičkih opterećenja na kotačima i zakretnih momenata kod skidera ECOTRAC 120 V izvršeno je pomoću mjernih traka postavljenih na konstrukcija skidera, odnosno na gornju stranu kućišta vratila i na obodu kućišta završnih planetarnih reduktora.

Kod mjerenja na skideru WOODY 110 izrađeni su za svaki kotač doze/dinamometri sa ugrađenim mjernim trakama za mjerenje dinamičkih opterećenja na kotačima i zakretnih momenata (slika 12).



Slika 12. Ugrađeni dinamometar sa ugrađenim mjernim trakama za mjerenje zakretnih momenata i opterećenja na kotačima skidera Woody 110

Određivanje se horizontalne i vertikalne sastavnice sile u užetu pri privlačenju drva kod oba istraživana skidera izvršilo pomoću dva vlačno-tlačna dinamometra. Dinamometri su međusobno spojeni pod kutom od 90° stupnjeva te postavljeni na nosač zglobno učvršćen na mjestu vertikalnih valjaka vitla (slika 13 i 14).



Slika 13. Dinamometri na skideru Ecotrac 120 V

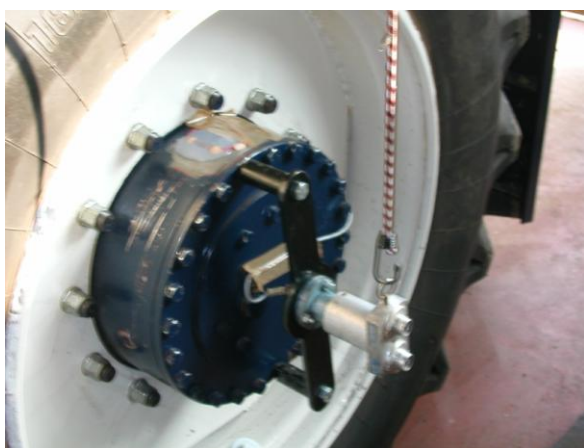


Slika 14. Dinamometri na skideru Woody 110

Zbog okretanja kotača bilo je potrebno postaviti klizni prijenosnik na svakom kotaču za prijenos signala izmjere zakretnog momenta na kotačima sa mjernog pretvornika (mjerne trake ili dinamometra) preko kabla dalje do pojačala. Nosači su kliznog prijenosnika učvršćeni na kućište završnog reduktora (slika 15 i 16). Klizni prijenosnik se sastoji od rotora, kliznog prstena i kućišta. Rotor je spojen s nosačem te se okreće zajedno s kotačem. Na utičnicu rotora je doveden kabel sa spojnog mjesta. Kućište kliznog prijenosnika je učvršćeno elastičnim užetom na dodatnu konstrukciju koja je postavljena iznad osovina skidera kako bi se omogućilo nesmetano okretanje kotača.

Za određivanje broja okretaja kotača na svakom kotaču su postavljeni klizni prijenosnici sa prstenom i grafitnom četkicom, koji su iskorišteni kao davači impulsa. Od četiri klizna prijenosnika, dva su imala prsten podijeljen na 10 segmenata tj. za jedan puni okret kotača su bilježila 10 impulsa, dok su ostala dva za jedan okret kotača bilježila jedan impuls. Klizni prijenosnici s prstenom od 10 segmenata su postavljeni na prednji desni i stražnji lijevi kotač. Raspon napona impulsa okreta kotača se kretao od 5 V do 9 V. S druge utičnice na kućištu kliznog prijenosnika pomoću kabela se signal prenosio do pojačala.

Na osi svakog kotača skidera WOODY 110 postavljen je rotacijski optički davač za mjerenje prijeđenog puta pogonskog kotača, uključujući klizanje.



Slika 15. Klizni prijenosnik na kotaču skidera Ecotrac 120 V



Slika 16. Klizni prijenosnik na kotaču skidera Woody 110

Stvarno prevaljeni put mjeren je pomoću slobodno kotrljajućeg petog kotača, a njegova primjena je potrebna za određivanje brzine kretanja skidera i klizanja kotača usporedbom njegovog broja okretaja i broja okretaja pogonskih kotača. Primjena petog kotača je dosta česta kod ispitivanja poljoprivrednih traktora, a kod istraživanja specijalnih šumskih vozila koriste ga mnogi istraživači i može se smatrati najčešćim mjerilom puta (Hassan, 1989). Isti autor (1988) opisuje optičko mjerilo puta razvijeno u NCSU za istraživanja skidera u eksploatacijskim uvjetima. Sever (1980) kod istraživanja vučne značajke skidera te Horvat (1993A) kod istraživanja forvardera također koriste peti kotač.

Peti kotač je zglobno učvršćen na prednju dasku skidera (slika 17 i 18), a duljina prevaljenog puta je određena na osnovu njegovog broja okretaja i izmjerenog opsega. Na peti kotač je također bio postavljen klizni prijenosnik preko kojeg se na opisani način prenosio impuls promjene napona pomoću prstena s podjelom od 10 segmenata i grafitne četkice.

Klizanje kotača skidera tijekom istraživanja utvrđivano je na osnovu broja okretaja kotača po putu.

Pomoću mjernih pretvornika (davača impulsa) izvršena su očitavanja impulsa okretaja pogonskih kotača skidera i petog kotača. Obradom impulsnih podataka određen je broj okretaja svakog pojedinog kotača te petog kotača u vučnim pokusima. Na osnovu broja okretaja petog kotača i izmjerenog opsega kotača izračunat je stvarno prijeđeni put.



Slika 17. Peti kotač na skideru Ecotrac 120 V



Slika 18. Peti kotač na skideru Woody 110

Mjerna pojačala su smještena na postolje učvršćeno iza kabine skidera te zaštićeni od vlage i mehaničkih oštećenja (slika 19 i 20).

Kod skidera WOODY 110 mjerna pojačala su povezana s glavnim računalom, također na postolju iza kabine, koje prikuplja i obrađuje podatke. Kontrola mjernih rezultata i ispravnosti mjernih pretvornika je bila moguća tek nakon završetka mjerenja.

Kod skidera ECOTRAC 120 V korišten je daljinski prijenos mjernih podataka. Daljinski prijenos podataka je omogućen primjenom radio modema ELPRO 805 U (ELPRO Technologies Pty Ltd.). Radio modem je bio postavljen na samom skideru i spojen preko COM ulaza s mjernim pojačalom HBM Spider 8 primao analogno pojačane mjerne signale te ih odašiljao preko antene postavljene na krovu kabine skidera. Drugi radio modem je primao mjerne signale te ih prenosio na terensko računalo.

U oba istraživanja računalnim programom Catman 4.0 (Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH) su bilježeni podaci mjerenja.



Slika 19. Pojačala, radio modem i antena na skideru Ecotrac 120 V

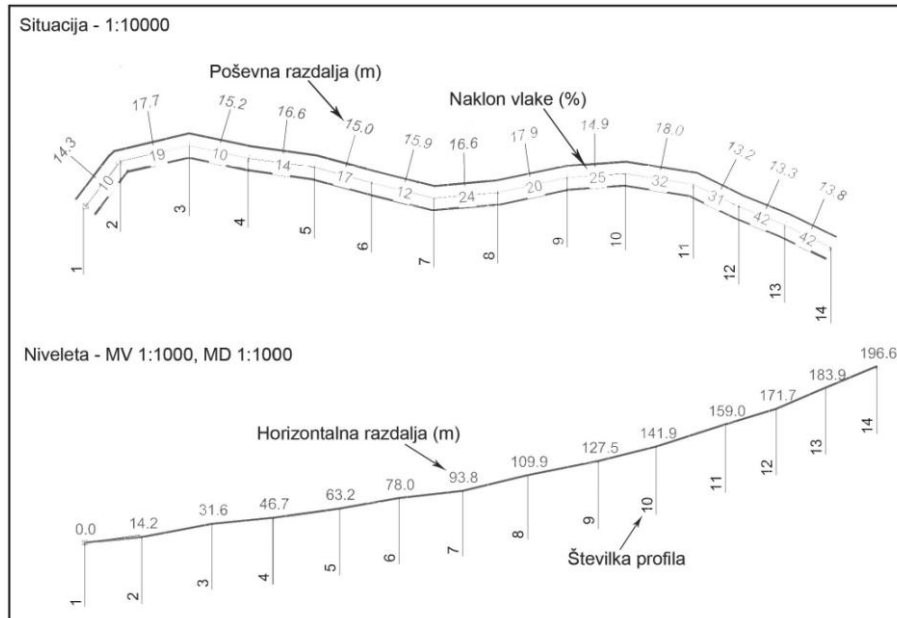


Slika 20. Pojačala i računalo na skideru Woody 110

Također su izmjerene mase svih drvnih sortimenata koje smo koristili u vučnim pokusima.

7. Mjesto istraživanja

Mjerenja vučne značajke skidera WOODY 110 izvršena su na traktorskom putu duljine 220 m na području Postojnskog gozdnog gospodarstva, GGE Leskova dolina (slika 21).



Slika 21. Situacija i niveleta traktorskog puta pri mjerenju vučne značajke skidera Woody 110

Precizno su izmjereni uzdužni nagibi traktorskog puta te su dionice traktorskog puta podijeljeni u 3 odsjeka uzdužnog nagiba:

- do 20 %, 62,7 m
- od 20 % do 30 %, 49,4 m
- više od 30 %, 58,3m.

Mjerenja vučne značajke skidera ECOTRAC 120 V su provedena u odsjeku 11a gospodarske jedinice "Dotrščina" Nastavno-pokusnog šumskog objekta Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. U odsjeku 11 a gospodarske jedinice "Dotrščina" odabrani su pravci dvije traktorske vlake na kojima će se izvršiti mjerenja. Pri mjerenjima, u prvom vučnom pokusu opterećeni skider se kretao neizgaženim tlom po označenom pravcu traktorskih vlaka.

Uzdužni nagibi traktorskih vlaka imaju vrijednosti 15 % i 30 %.

Traktorske vlake su bile ravnog pravca i jednolikog nagiba u cilju eliminiranja utjecaja krivina i promjene nagiba na mjerenje mehaničkih veličina na skideru te postizanja velikog broja mjerenja mehaničkih veličina pri istim uvjetima privlačenja.

8. Rezultati istraživanja

U svrhu utvrđivanja tehničko-eksploatacijskih značajki skidera pri privlačenju drva potrebno je poznavati značajke tovara koji će se koristiti u vučnim pokusima. Pri privlačenju drva skiderom jedan kraj tovara se vuče oslonjen na tlo dok je drugi kraj odignut od tla i vezan na užu čime dolazi do većeg opterećenja stražnjih kotača.

Temeljem poznatih obujama i masa drvnih sortimenata određene su značajke tovara koje će se koristiti u vučnim pokusima.

U ukupno 19 vučnih pokusa sa skiderom Ecotrac 120 V korišteno je ukupno 8 različitih tovara, od toga 3 tovara sa kratkom drvnim sortimentima i 5 tovara sa dugim drvnim sortimentima.

U ukupno 22 vučna pokusa sa skiderom Woody 110 korišteno je ukupno 10 različitih tovara.

Za usporedbu klizanja kotača skidera pri privlačenju drva potrebno je izabrati približno jednake toware. Vrlo je mali broj jednakih tovara po obujmu te su stoga za usporedbu izabrani vučni pokusi sa tovarima jednakim po masi. Pri tome je potrebno naglasiti da se tovari kod istraživanja ECOTRAC-a 120 V sastoje od hrastovih drvnih sortimenta, a kod istraživanja WOODY-a 110 od jelovih drvnih sortimenta. Stoga su uočene velike razlike u odnosu obujma i mase tovara pri istraživanjima.

Na kraju je odabrano 5 parova tovara podjednakih po masi, odnosno razlika između tovara nije veća od 110 kg.

Tablica 1. Odabrani tovari za usporedbu

Tovari ECOTRAC 120 V		Tovari WOODY 110		Razlika
Obujam	Masa	Obujam	Masa	
m ³	kg	m ³	kg	kg
2,16	2 273	2,89	2383	110
2,37	2 519	3,11	2430	89
3,61	3 868	5,12	3958	90
4,50	4 797	6,14	4729	68

Kako su u istraživanjima korišteni isti tovari više puta, npr. istim tovarom se izvršio vučni pokus uz nagib i niz nagib te na različitim uzdužnim nagibima vlake, ukupno se usporedba klizanja kotača skidera može provesti na 9 parova sličnih vučnih pokusa.

Tablica 2 Odabrani vučni pokusi za usporedbu

Smjer privlačenja	Nagib		Tovar			
	WOODY 110	ECOTRAC 120 V	WOODY 110		ECOTRAC 120 V	
			m ³	kg	m ³	kg
uz nagib	Do 20 %	15 %	3,11	2430	2,37	2519
uz nagib	Do 20 %	15 %	5,12	3958	3,61	3868
uz nagib	Do 20 %	15 %	5,12	3958	3,61	3868
uz nagib	Nad 30 %	30 %	2,89	2383	2,16	2272
niz nagib	Do 20 %	15 %	3,11	2430	2,37	2519
niz nagib	Do 20 %	15 %	5,12	3959	3,61	3868
niz nagib	Nad 30 %	30 %	3,11	2430	2,37	2519
niz nagib	Nad 30 %	30 %	5,12	3958	3,61	3868
niz nagib	Nad 30 %	30 %	6,14	4729	4,5	4797

U tablici 3 su prikazani rezultati mjerenja klizanja kotača pri privlačenju drva skiderom ECOTRAC 120 V s odabranim tovarima za usporedbu na različitim nagibima vlake. Ujedno su za svaki vučni pokus prikazani rezultati mjerenja vodoravne i okomite sastavnice sile u užetu, zakretnih momenata po osovinama te raspodjele adhezijskog opterećenja na kotačima.

Pri privlačenju niz nagib vertikalna sastavnica sile u užetu uvijek ima veće vrijednosti od horizontalne sastavnice sile.

Pri privlačenju niz nagib od 30 % vertikalne i horizontalne sastavnice sile u užetu se povećavaju s povećanjem težine tovara, osim u slučaju privlačenja najvećeg tovara mase 4797 kg.. U tom slučaju horizontalna sastavnica sile ima negativnu vrijednost što ukazuje da je tovar bio prednjim krajem naslonjen na zadnju prihvatno-zaštitnu dasku skidera te gurao vozilo u smjeru kretanja. Pretpostavka je da do ove pojave dolazi pri određenim negativnim nagibima i graničnim težinama tovara. Velika težina tovara se pri većim negativnim nagibima uslijed djelovanja sile gravitacije sama pokreće u smjeru privlačenja što se smatra pozitivnim sa stanovišta eksploatacije jer nije potrebna vučna sila skidera. S druge strane stoji negativan

pristup koji se očituje u otežanom upravljanju skiderom tijekom kočenja i uslijed toga smanjene stabilnosti skidera pri radu na nagibu te sigurnosti radnika u kabini. U obzir treba uzeti i vijek trajanja vozila izloženog skidera dodatnim opterećenjima udarcima tovara.

Pri privlačenju niz nagib zakretni momenti na kotačima su negativni, a raspodjela zakretnih momenata po osovinama je u skladu sa raspodjelom opterećenja po osovinama. Veću su vrijednosti zakretnih momenata na osovini gdje je veće opterećenje kotača.

Kod privlačenja niz nagib zakretni su momenti na kotačima skidera negativni jer ne služe za ostvarivanje vučne sile na kotačima već se prijenosom zakretnog momenta kroz sustav transmisije vrši kočenje skidera. Potreba za kočenjem skidera se očituje u utjecaju horizontalne sastavnice težine skidera ($G \sin \alpha$) koja djeluje u smjeru kretanja skidera i uslijed njenog djelovanja dolazi do savladavanja vučnih otpora. Iz navedenog proizlazi kako se u slučaju privlačenja niz nagib ne može govoriti o ostvarivanju prave vuče jer skider vuče tovar svojom težinom, a prijenos snage s pogonskog motora na kotače se ne koristi za ostvarivanje vučne sile.

Tablica 3. Vučni pokusi sa skiderom Ecotrac 120 V

Smjer privlačenja	Nagib	Tovar		Opterećenje kotača		Zakretni moment		Sila u užetu		Klizanje kotača
				Prednji most	Stražnji i most	Prednji most	Stražnji most	vodoravna	okomita	
		V	m	G_k		M		H	V	δ
		m ³	kg	%		kNm		kN	kN	%
niz nagib	15 %	2,37	2519	43	57	-4,619	-6,008	3,44	13,738	-1,8
niz nagib	15 %	3,61	3868	33	67	-3,392	-7,821	4,136	21,598	-0,6
niz nagib	30 %	2,37	2519	57	43	-10,739	-7,935	1,118	9,421	-5,1
niz nagib	30 %	3,61	3868	53	47	-10,14	-8,249	2,379	13,49	-3,1
niz nagib	30 %	4,5	4797	52	48	-11,235	-8,726	-0,247	14,176	-2,7
uz nagib	15 %	2,37	2519	19	81	3,87	14,793	8,602	13,063	46,3
uz nagib	15 %	3,61	3868	13	87	3,593	18,094	13,238	19,684	47,9
uz nagib	15 %	3,61	3868	17	83	4,831	17,821	15,243	17,586	11,7
uz nagib	30 %	2,16	2272	19	81	4,781	23,044	11,079	13,364	60,9

Klizanje kotača pri privlačenju drva niz nagib također je negativno. Manje negativne vrijednosti klizanja kotača se javljaju pri privlačenju niz nagib od 15 %. Na većem nagibu vlake veće su negativne vrijednosti klizanja kotača.

Klizanje kotača također ovisi o stanju tla tj. njegovoj posmičnoj čvrstoći. Tlo šumske vlake na kojoj se vršilo istraživanje je ilovača u kojoj dominiraju frakcije sitnog pijeska i praha.

Zbog velikog udjela sitnog pijeska u mehaničkom sastavu tla može se zaključiti da tla ispitivanih vlaka imaju slabu posmičnu čvrstoću. S promjenama temperature zraka i tla tijekom istraživanja bitno su se mijenjali uvjeti stanja tla.

Pri privlačenju niz nagib 15 % vrijednosti klizanja su iznosile -1,8 % za tovar mase 2519 kg, odnosno -0,6 za tovar mase 3868 kg.

Pri privlačenju uz nagib 15 % klizanje je iznosilo od 46,3 % i 47,9 % za dva ispitivana tovara.

Trećeg dana mjerenja, stanje tla šumske vlake promijenilo se zbog vrlo niskih temperatura zraka i tla tijekom vikenda kada nisu vršena mjerenja. Tlo vlake je bilo smrznuto i vrlo čvrsto tako da nisu izvršena niti mjerenja posmične čvrstoće tla zbog nemogućnosti utiskivanja krilne sonde u tlo. Toga je dana, izmjereno klizanje kotača bilo značajno manje. Od prijašnjeg vučnog pokusa s tovarom mase 3868 kg kada je klizanje iznosilo 47,9 %, pri ponovljenom vučnom pokusu s istim tovarom zabilježeno je klizanje od samo 11,7 %.

Pri privlačenju na šumskoj vlaci nagiba 30 % temperature zraka i tla nisu se mijenjale. Pri vučnim pokusima niz nagib klizanje kotača kreće se od -8,0 % kod najmanjeg tovara (k2) do -2,7 % kod najvećeg tovara (d4).

Privlačenjem uz nagib 30 % izmjereno je najveće klizanje kotača od čak 60,9 % iako je masa tovara iznosila 2272 kg.

U tablici 4 su na isti način prikazani rezultati mjerenja klizanja kotača, zakretnog momenta i sastavnica vučne sile pri privlačenju drva skiderom WOODY 110

Zakretni momenti su mjereni na svakom kotaču, a u tablici su prikazane zbrojene vrijednosti kotača iste osovine. Također je klizanje kotača mjereno na svakom kotaču, ali su prikazane vrijednosti aritmetička sredina klizanja svih kotača.

Pri privlačenju drva skiderom WOODY 110 niz nagib do 20 % zakretni moment na prednjim kotačima ima pozitivnu vrijednost, dok na stražnjim kotačima i ma negativnu vrijednost. Povećanjem mase tovara povećava se vrijednosti zakretnog momenta na svim kotačima skidera.

Pri privlačenju drva skiderom niz nagib od 30 % zakretni momenti imaju negativnu vrijednost na svim kotačima. Povećanjem mase tovara dolazi do smanjenja vrijednosti zakretnog momenta na prednjim kotačima dok vrijednosti zakretnog momenta na stražnjim kotačima rastu.

Kao i kod Ecotrac-a 120 V prilikom kretanja niz nagib moment se ne koristi za ostvarivanje vučne sile nego za ostvarivanje kočenja.

Kod privlačenja drva uz nagib vrijednosti zakretnog momenta su pozitivne jer se moment koristi za ostvarivanje vučne sile. Povećanjem mase tovara povećavaju se vrijednosti zakretnog momenta.

Klizanje kotača, kao i kod Ecotrac-a 120 V, pri privlačenju drva niz nagib je negativno. Manje negativne vrijednosti klizanja kotača se javljaju pri privlačenju niz nagib do 20%. Na većem nagibu vlake veće su negativne vrijednosti klizanja kotača. Povećanjem mase tovara su se smanjivale negativne vrijednosti klizanja kotača prilikom privlačenja drva niz nagib. Klizanje kotača prilikom privlačenja drva uz nagib povećavalo se s povećanjem nagiba, također povećanjem mase tovara povećavale su se i vrijednosti klizanja kotača.

Tablica 4. Vučni pokusi sa skiderom WOODY 110

Smjer privlačenja	Nagib	Tovar		Opterećenje kotača		Zakretni moment		Sila u užetu		Klizanje kotača
				Prednji most	Stražnji i most	Prednji most	Stražnji most	vodoravna	okomita	
		V	m	G _k		M		H	V	δ
		m ³	kg	%		kNm		kN	kN	%
niz nagib	Do 20 %	3,11	2430	40	60	1.326	-1.100	5.417	9.874	-4
niz nagib	Do 20 %	5,12	3959	29	71	2.504	-1.827	5.839	17.580	0
niz nagib	Nad 30 %	3,11	2430	49	51	-8.794	-8.059	2.787	7.643	-14
niz nagib	Nad 30 %	5,12	3958	39	61	-8.101	-10,200	2.719	15.003	-11
niz nagib	Nad 30 %	6,14	4729	47	53	-6.388	-8.311	6.987	10.192	-9
uz nagib	Do 20 %	3,11	2430	34	66	7.243	12.781	10.609	11.200	7,75
uz nagib	Do 20 %	5,12	3958	25	75	5.978	18.091	13.137	19.093	10
uz nagib	Nad 30 %	2,89	2383	27	73	7.202	26.260	15.056	7.992	19,25

U tablici 5 prikazana je usporedba rezultata mjerenja klizanja kotača kod oba istraživana skidera. Kod privlačenja drva uz nagib zabilježena su mnogo manje vrijednosti klizanja kotača kod skidera WOODY 110 sa hidrostatskim načinom transmisije. To nas navodi na zaključak da hidrostatsko-mehanička transmisija učinkovitije prenosi zakretni moment na kotače pri privlačenju uz nagib, iako moramo uzeti u obzir da se skider WOODY kretao izgrađenim traktorskim putom, a skider Ecotrac po novo nastaloj traktorskoj vlaci. Također je skider WOODY pri istraživanju bio opremljen lancima na svim kotačima s ciljem povećanja trakcije kotača i smanjenja klizanja. Pravilna usporedba s ciljem utvrđivanja prednosti hidrostatsko-mehaničke transmisije kod skidera bila bi uz istovremeno istraživanje oba skidera u istim radnim uvjetima (isto stanje podloge, uporaba lanaca i isti tovari).

Kod privlačenja drva niz nagib manje negativne vrijednosti klizanja kotača su izmjerene kod skidera Ecotrac 120 V s mehaničkom transmisijom. Što je prvenstveno uočljivo kod kretanja skidera niz nagib od 30%. Prema navedenom može se zaključiti da se mehaničkom transmisijom bolje koči odnosno da pri istim uvjetima kod hidrostatske transmisije dolazi do pada tlaka u hidrauličkom sustavu.

Tablica 5. Usporedba klizanja kotača u vučnim pokusima

Smjer privlačenja	Nagib		Tovari		Klizanje kotača	
	WOODY 110	ECOTRAC 120 V	WOODY 110	ECOTRAC 120 V	WOODY 110	ECOTRAC 120 V
			kg	kg	%	%
uz nagib	Do 20 %	15 %	2430	2519	7,75	46,3
uz nagib	Do 20 %	15 %	3958	3868	10	47,9
uz nagib	Do 20 %	15 %	3958	3868	10	11,7
uz nagib	Nad 30 %	30 %	2383	2272	19,25	60,9
Niz nagib	Do 20 %	15 %	2430	2519	-4	-1,8
Niz nagib	Do 20 %	15 %	3959	3868	0	-0,6
Niz nagib	Nad 30 %	30 %	2430	2519	-14	-5,1
Niz nagib	Nad 30 %	30 %	3958	3868	-11	-3,1
niz nagib	Nad 30 %	30 %	4729	4797	-9	-2,7

9. Zaključci

U radu je izvršena usporedba klizanja kotača dva različita skidera pri jednakim uvjetima privlačenja (jednaki tovari i nagibi traktorskog puta i šumske vlake). Prvi skider u istraživanju je ECOTRAC 120 V, hrvatskog proizvođača Hittner d.o.o. sa mehaničkom transmisijom, a drugi skider je slovenske proizvodnje WOODY 110 s hidrostatskom transmisijom.

Klizanje kotača skidera tijekom istraživanja utvrđivano je na osnovu broja okretaja kotača po putu. Prijedeni je put izračunat iz umnoška broja okretaja petoga kotača i njegovog opsega.

Pri privlačenju niz nagib klizanje kotača je negativno. Općenito se može reći da se, pri istim uvjetima pri privlačenju uz nagib, klizanje kotača povećava s povećanjem težine tovara, a pri privlačenju niz nagib su manje negativne vrijednosti klizanja s povećanjem težine tovara. Klizanje kotača ovisi o težini tovara i stanju tla. Kod smrznutog tla manje je klizanje kotača.

Usporedbom klizanja kotača kod istraživanih skidera ustanovljene su prednosti hidrostako-mehaničke transmisije pri privlačenju drva uz nagib. No, pri privlačenju niz nagib mehaničkom transmisijom se se ostvarila manja klizanja kotača.

Navedeni zaključci se mogu objasniti većom krutošću mehaničke transmisije odnosno, većim unutarnjim trenjima mehaničke transmisije koji omogućavaju zadržavanje skidera pri kretanju niz nagib.

S druge strane može se zaključiti o nedostatku hidrostatsko-mehaničke transmisije pri kretanju niz nagib jer vjerojatno dolazi do pada tlaka u hidrauličkom sustavu.

Kod privlačenja se drva uz nagib očituje prednost hidrauličko-mehaničke transmisije uslijed učinkovitijeg prijenosa zakretnih momenata na kotače.

Navedene pretpostavke potrebno je potkrijepiti daljnjim istraživanjima skidera različitih sustav transmisije pri jednakim radnim uvjetima (isto stanje podloge, uporaba lanaca i isti tovari).

10. Literatura

1. Arnup, R.W.: The extent, effect and management of forestry-related soil disturbance, with reference to implications for the Clay Belt: a literature review, Ontario Ministry of Natural Resources, Northeast Science & Technology, TR-37, 1998.
2. Beuk, D.; Tomašić, Ž.; Horvat, D. 2007: Status and development of forest harvesting mechanization in Croatian state forestry, Croatian Journal of Forest Engineering 28(2007)1, Zagreb str. 63-82.
3. Carlsson, E., 2006: Modeling Hydrostatic Transmission in Forest Vehicle, doktorska disertacija, Linköping University, Švedska.
4. Gregov, G. 2012.:Prilog istraživanju modeliranja hidrostatske transmisije na šumskom vozilu. Doktorska disertacija, Tehnički fakultet sveučilišta u Rijeci, str. 1-42.
5. Hassan, A., E., 1988: Instrumentation research applied to four-wheel drive skidders. Zbornik radova JUKEM 13, Split, 587-607.
6. Hassan, A., E., 1989: Mjerni postupci pri istraživanju šumskih zglobnih traktora. Mehanizacija šumarstva 14(11/12): 199-209.
7. Hassan, A., E., Gustafson, M., L., 1983: Factors Affecting Tree Skidding Forces, Transactions of the ASAE, 26(1), 47-53.
8. Heidl, I., Husnjak, M., 1992: Tenzometrija, Tehnička enciklopedija, Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Svezak 22I, 685-690.
9. Horvat D., 1987: Skidder Wheel Torque Measuring, Proceedengs of 9th ISTVS International Conference, Barcelona, Vol. II, 531-541.
10. Horvat, D. 1990: Predviđanje vučnih karakteristika šumskog zglobnog traktora – skidera, Mehanizacija šumarstva 15(7/8), Zagreb, str. 113-118.
11. Horvat, D., 1993: Prilog proučavanju prohodnosti vozila na šumskom tlu. Disertacija, Fakultet Strojarnstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 1–234.
12. Horvat, D. 1996: Neke tehničke značajke traktora za privlačenje drva u prorednim sastojina brdsko-planinskog područja, Šumarski list, br. 3-4, Zagreb, str.157-162.

13. Horvat D., Jursik L., Krstić, I., Nedić, A., Risović, S., Slabak, M., Zajec, Z., Sever, S., 1991: Istraživanje svojstava i djelotvornosti hvatača pri proredama nizinskih šuma Spačvanskog bazena, *Mehanizacija šumarstva* 16(11-12), 175-191.
14. Horvat, D., Šušnjar, M., 2005A: Tehničke značajke skidera Ecotrac 120V, Istraživanje i studija u okviru projekta "Razvoj, izrada i ispitivanje specijalnog šumskog vozila - skidera mase 7t", programa RAZUM Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa RH, Studija, str. 1-31.
15. Horvat, D., Šušnjar, M., 2005B: Sigurnosne značajke skidera Ecotrac 120 V, Istraživanje i studija u okviru projekta "Razvoj, izrada i ispitivanje specijalnog šumskog vozila - skidera mase 7t", programa RAZUM Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa RH, str. 1-21.
16. ISO 6687:1994 (Machinery for forestry – Winches – Performance requirements)
17. Košir, B., Lipoglavšek, M.; 1999: Entwicklung des forstlichen knickschleppers WOODY mit hydrostatischen antrieb in Slowenien. Sammelbuch 33. Internationales symposium FORMEC, Zalesina, Delnice, Senj, Kroatien, 123-139.
18. Košir, B.; Marenče, J.: Measuring the limits of uphill timber skidding with a WOODY 110 forestry tractor, *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 83 (2007), 59 – 62, Ljubljana, Slovenija, 2008.
19. Krpan, A.P.B.,1992: Iskorišćivanje šuma (Forest exploitation), monografija "Šume u Hrvatskoj", Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatske šume p.o. Zagreb, str. 153-170.
20. Krpan, A.P.B., Poršinsky, T., Zečić, Ž., 2003: Studija o potrebnoj veličini zglobnog traktora (skidera) temeljem sastojinskih prilika glavnoga prihoda i primjenjene tehnologije. Znanstvena studija izrađena u sklopu tehnološkog projekta Ministarstva znanosti i tehnologije "Razvoj, ispitivanje i proizvodnja specijalnog šumskog vozila skidera mase do 7 t (TP–C37/2002)", Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 1-41.
21. Krulc, Z., 1969: Električna mjerenja, Tehnička enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, svezak III, 590-672.

22. Marenče, J., 2005: Spreminjanje tehničnih parametrov traktorja pri vlačanju lesa - kriterij pri izbiri delovnega sredstva. Doktorska disertacija. Biotehniška fakulteta Univerze u Ljubljani; Slovenija, str. 1-271.
23. Marklund, B., O., 1987: Torque distribution on wheeled vehicles affects damage on the forest ground, Proceedings of 9th ISTVS International Conference, Barcelona, Vol. 1, 347-354.
24. Meek, P., 1996: Effects of skidder traffic on two types of forest soils. FERIC Technical report TN-117, 1-11.
25. Olsen, H., J., Wästerlund, I., 1988: Fordon-mark forskning, Project of Swedish University of Agricultural sciences, College of Forestry, Report, 1-58.
26. Opalić, M. 1998: Prijenosnici snage i gibanja, Hrvatsko društvo za elemente strojeva i konstruiranje, Zagreb.
27. Rieppo, K., Kariniemi, A., Haarlaa, R., 2002: Possibilities to develop machinery for logging operations on sensitive forest sites. Department of forest resource management, University of Helsinki, Finland, Publications 29, 1-30.
28. Saarilahti, M., 2002: Soil interaction model. Project deliverable D2 (Work package No. 1) of the Development of a Protocol for Ecoefficient Wood Harvesting on Sensitive Sites (ECOWOOD). EU 5th Framework Project (Quality of Life and Management of Living Resources) Contract No. QLK5-1999-00991 (1999-2002), 1 – 87.
29. Sever, S., 1980: Istraživanje nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 1-301.
30. Sever, S., Horvat, D., 1985: "Šumski zglobni traktor snage oko 60 kW", Studija, Zagreb, ZIŠ, 1-187.
31. Sever, S., 1987: Dynamic loading of skidder axles at wood skidding, Proceedings of the 9th International Conference of the ISTVS, Barcelona, Vol. II, 531-540.
32. Sever, S., Horvat, D. Tomašić, Ž., 1997: Wheel slip investigation of farming adapted tractor in wood skidding on skid trail. FAO/ILO/ECE & IUFRO workshop "New trends in thinings", 8-11. September 1997, Zvolen, Slovačka. 105-112.

33. Sever, S.; Puljak, S. 2005: TIBOTRAC FM 03 – prvi hrvatski šumski zglobnik na biodizelsko gorivo, Nova mehanizacija šumarstva (26), Zagreb str. 3-12.
34. Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 1-136.
35. Tomičić, B., 1974: Iskorišćivanje šuma na Bilogorsko-Podravskom području. Edicija "Sto godina šumarstva Bilogorsko-Podravske regije".
36. www.vilpo.si/upload/woody-prospekt.pdf
37. www.fordaq.com
38. www.tigercat.com
39. www.vannatabros.com