

Mehanizirani sustavi pridobivanja drva - trendovi razvoja i mogućnosti primjene

Antolić, Domagoj

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:816740>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-17**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ ŠUMARSTVO

SMJER: TEHNIKA, TEHNOLOGIJA I MANAGEMENT U ŠUMARSTVU

DOMAGOJ ANTOLIĆ

**MEHANIZIRANI SUSTAVI PRIDOBIVANJA DRVA – TRENDVI RAZVOJA I
MOGUĆNOSTI PRIMJENE**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2020.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

**MEHANIZIRANI SUSTAVI PRIDOBIVANJA DRVA – TRENDVI RAZVOJA I
MOGUĆNOSTI PRIMJENE**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij Šumarstvo – Smjer: Tehnika, tehnologija i management u šumarstvu

Predmet: Pridobivanje drva II

Ispitno povjerenstvo: 1. doc. dr. sc. Dinko Vusić

2. prof. dr. sc. Željko Zečić

3. prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky

Student: Domagoj Antolić

JMBAG: 0119013916

Broj indeksa: 966/18

Datum odobrenja teme: 17.04.2020.

Datum predaje rada: 18.09.2020.

Datum obrane rada: 25.09.2020.

Zagreb, rujan 2020.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Mehanizirani sustavi pridobivanja drva – trendovi razvoja i mogućnosti primjene
Title	Mechanized timber harvesting systems – development trends and application possibilities
Autor	Domagoj Antolić
Adresa autora	Kralja Tomislava 34, 49246 Marija Bistrica
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Doc. dr. sc. Dinko Vusić
Izradu rada pomogao	
Godina objave	2020.
Obujam	61 stranica, 22 slike, 163 navoda literature
Ključne riječi	metode pridobivanja drva, skider, forvarder, harvester
Key words	timber harvesting methods, skidder, forwarder, harvester
Sažetak	Počecima oblikovanja današnjih metoda rada, uz uvažavanje sastojinskih i terenskih obilježja u gospodarenju šumama u Republici Hrvatskoj, smatra se kraj šezdesetih i početak sedamdesetih godina prošlog stoljeća kada se u hrvatsko šumarstvo uvode specijalni šumski strojevi, skideri i forvarderi, namijenjeni privlačenju i izvoženju drva iz šume do pomoćnog stovarišta. Uvođenje skidera uvjetovalo je primjenu nove metode – razvijena je deblovna metoda pridobivanja drva, sa svojom inačicom u poludeblovnoj metodi. S druge strane, u primjeni forvardera zadržana je sortimentna metoda pridobivanja drva, koja je dodatno napredovala uvođenjem trenutno jednog od najmodernijih šumskih strojeva, harvester. Podlogu za prikaz trendova razvoja pojedinih mehaniziranih sustava pridobivanja drva, s posebnim naglaskom na mogućnost primjene pojedinih sustava u šumama Republike Hrvatske, predstavljaju znanstvene objave u domaćim časopisima za pregled dosadašnjeg razvoja sustava pridobivanja drva u Republici Hrvatskoj, odnosno znanstvene objave u domaćim i međunarodnim časopisima za pregled očekivanih trendova razvoja sredstava rada i metoda pridobivanja drva. Analizom osnovnih značajki pojedinih sustava pridobivanja drva, odnosno sredstava i metoda rada te sintezom prikupljenih informacija opisan je razvoj pojedinih sustava pridobivanja drva u Republici Hrvatskoj od početka mehaniziranja radova, preko trenutne situacije i projekcije smjerova razvoja i primjenjivosti pojedinih sredstava i metoda rada, odnosno sustava pridobivanja drva u šumama Republike Hrvatske u budućnosti.

	IZJAVA O IZVORNOSTI RADA		OB ŠF 05 07
			Revizija: 1
			Datum: 28.6.2017.

„Izjavljujem da je moj *diplomski rad* izvorni rezultat mogega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

vlastoručni potpis

Domagoj Antolić

U Zagrebu, 25.9.2020.

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Problematika	2
2.1. Sustavi i metode pridobivanja drva	2
2.2. Utjecajni čimbenici	6
2.3. Razvoj sustava pridobivanja drva	10
2.4. Cilj rada	13
3. Materijal i metode	14
4. Rezultati	15
4.1. Sustavi pridobivanja drva privlačenjem	15
4.1.1. Povijesni pregled	15
4.1.2. Trenutno stanje	24
4.1.3. Očekivani smjer razvoja	29
4.2. Sustavi pridobivanja drva izvoženjem	30
4.2.1. Povijesni pregled	31
4.2.2. Trenutno stanje	41
4.2.3. Očekivani smjer razvoja	49
4.3. Sustavi pridobivanja drva iznošenjem	51
4.3.1. Povijesni pregled	51
4.3.2. Trenutno stanje	54
4.3.3. Očekivani smjer razvoja	59
5. Zaključci	61
6. Literatura	

POPIS SLIKA

Slika 1.	Metode pridobivanja drva	3
Slika 2.	Funkciogram djelomično mehaniziranog sustava pridobivanja drva sortimentnom metodom	4
Slika 3.	Funkciogram djelomično mehaniziranog sustava pridobivanja drva poludeblovnom metodom	5
Slika 4.	Odnos između obujma komada i utroška vremena	7
Slika 5.	Odnos između srednjeg kubnog stabla i proizvodnosti harvestera	8
Slika 6.	Odnos između obujma komada, vrijednosti drva i troškova pridobivanja	8
Slika 7.	Odnos između jediničnog troška pridobivanja drva i sječne gustoće	9
Slika 8.	Trend porasta proizvodnosti u Švedskoj	11
Slika 9.	Adaptirani poljoprivredni traktor opremljen „jarmom“	17
Slika 10.	Poljoprivredni traktor opremljen vitlom i „kolicima“ (Italija)	18
Slika 11.	Skider s vitlom	19
Slika 12.	Skider s kliještima	20
Slika 13.	Skider s kliještima i kranom	20
Slika 14.	Ecotrac 55V i Ecotrac 120V	24
Slika 15.	Mehanizirani sustav pridobivanja drva privlačenjem	28
Slika 16.	Traktorska ekipaža	32
Slika 17.	Harvester	37
Slika 18.	Skupni rad harvestera i forvardera	44
Slika 19.	Akumulacijska sječna glava	46
Slika 20.	Primjena sidrenog užeta	47
Slika 21.	Povećanje mehaniziranosti sustava pridobivanja drva iznošenjem integracijom dodatnog sredstva rada s procesorskom glavom	57
Slika 22.	Stupna kamionska šumska žičara s procesorskom glavom	58

ZAHVALA

Ovaj rad izrađen je na Zavodu za šumarske tehnike i tehnologije Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom doc. dr. sc. Dinka Vusića.

Zahvaljujem mentoru na stručnoj pomoći i savjetima, trudu, susretljivosti i strpljenju tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Posebno zahvaljujem svojoj obitelji koja mi je bila bezuvjetna podrška u svim životnim odlukama.

Na kraju, želim zahvaliti svim prijateljima, kolegama i profesorima koji su svojom prisutnošću obogatili ove godine studiranja.

1. UVOD

Temeljna je posebnost šumskoga fonda Republike Hrvatske visok udio zastupljenosti tzv. prirodnih šuma u odnosu na njihovu ukupnu površinu, što ju svrstava u sam vrh zemalja Europe. Za prirodne šume u Hrvatskoj, osim njihova podrijetla, odnosno načina obnove, glavno je obilježje pojavnost klimatogenih šumskih biljnih zajednica s autohtonim vrstama drveća koje se nalaze u tzv. zadnjem stadiju progresivne sukcesije. Takve šumske sastojine imaju optimalnu strukturu i postižu najveće općekorisne i gospodarske vrijednosti, a razvijaju se na staništima oblikovanim u ovisnosti o lokalnim uvjetima podneblja, pedološkim, orografskim i biotskim prilikama (Matić 2009).

Sljedeća značajna posebnost šumskih sastojina u Republici Hrvatskoj jest činjenica da se ovdje na razmjerno malom prostoru izmjenjuje velika neujednačenost prirodnih uvjeta (razvedenost i visinska slojevitost, vrste tla, vodotoci, klimatske i meteorološke prilike i značajke, vegetacijski pokrov i dr.) kao skup najrazličitijih ekoloških čimbenika koji izravno i neizravno utječu na stvaranje brojnih prirodnih staništa šumskih sastojina i drugih životnih zajednica (Matić 2009).

Dva najvažnija izazova (zadatka) s kojima se suočava pridobivanje drva, ne samo u Republici Hrvatskoj, već i u svijetu, jesu odabir najboljeg sustava pridobivanja drva na određenom šumskom području te korištenje odabranog sustava na najbolji i najučinkovitiji način.

Svaki sustav pridobivanja drva može se primijeniti u širokom spektru uvjeta, a uvjeti koji pogoduju određenom sustavu mogu se značajno preklapati. Na mnogim šumskim područjima moguće je koristiti više različitih sustava. Ipak, sastojinski uvjeti na pojedinim šumskim područjima pogoduju primjeni samo jednog sustava pridobivanja drva. Proces odabira sustava i tehnologija zahtijeva razumijevanje ekonomskih, društvenih i ekoloških posljedica odabira određenog sustava. Također, potrebno je prepoznati kapacitete i mogućnosti korištenja opreme i mehanizacije (South African Ground Based Harvesting Handbook 2010).

Uzevši u obzir brojne čimbenike, svaka se odluka treba temeljiti na znanju i razumijevanju posljedica odabira pojedinog sustava pridobivanja drva, posebice prilikom uvođenja novih sredstava rada i formiranja novih sustava pridobivanja drva., odnosno promišljanja mogućih smjerova razvoja. Za planiranje, provedbu i rukovanje troškovno učinkovitim i sigurnim radovima na pridobivanju drva nužno je pridržavati se sustavnog pristupa jer će jedino takav pristup osigurati uspjeh u ekonomskom, socijalnom, ekološkom i tehničkom smislu (South African Ground Based Harvesting Handbook 2010).

2. PROBLEMATIKA

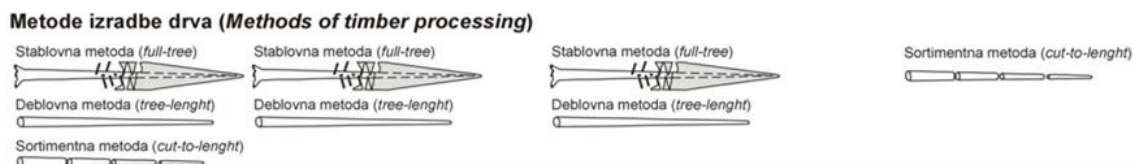
2.1. Sustavi i metode pridobivanja drva

Pridobivanje drva skup je tehnoloških postupaka nužnih za pretvorbu dubećih stabla u željeni šumski proizvod i njegovu dopremu iz šume do mjesta uporabe. U navedenim operacijama ljudi koriste alate, opremu i strojeve te formiraju sustav pridobivanja drva u određenoj sječini, a pri tome rad mogu obavljati različitim metodama pridobivanja drva, ovisno o stupnju izrade kraj panja i obliku u kojemu se drvo transportira do stovarišta (Pulkki 1997 prema Vusić 2013). Sustavi pridobivanja drva obično se dijele s obzirom na stupanj mehaniziranosti na: nemehanizirane, djelomično mehanizirane i mehanizirane. Detaljnijom podjelom moguće je razlikovati i visokomehanizirane sustave u kojima se samo sječa obavlja ručno-strojno, a svi ostali postupci strojno, od potpuno mehaniziranih sustava u kojima se svi postupci obavljaju strojno (Heinrich 1998 prema Vusić 2013).

Nakon sječe stabala i izradbe drva, drvo (ili drvni sortimenti – ovisno o metodi izradbe) razasuto je po sječnoj površini te ga treba prvo sakupiti i transportirati po šumskom bespuću do pomoćnog stovarišta, a zatim do pogona primarne prerade, odnosno kupca (Požega 2015). Transport drva po šumskom bespuću, tj. sekundarnim, (traktorski putevi i vlake) ili tercijarnim (žične linije) šumskim prometnicama naziva se primarni transport drva i najčešće završava dopremom drva na pomoćno stovarište. Slijedi daljinski transport drva koji se u pravilu obavlja šumskim kamionima, odnosno kamionskim skupovima po mreži šumskih cesta i javnih prometnica. Za veće udaljenosti transport se drva može nastaviti i željeznicom te vodenim putevima.

Za razliku od daljinskog transporta drva, odabir je sredstva primarnog transporta usko povezan s metodom pridobivanja drva. Metoda pridobivanja drva određena je oblikom u kojem se drvo doprema do pomoćnog stovarišta, a ovisi o stupnju izradbe drva na mjestu sječe. Dakle, odabir metode izradbe drva definira i metodu pridobivanja drva, a ovisi o dimenzijama doznačenih stabala, odnosno izrađenog drva i terenskim čimbenicima izvođenja šumskih radova koji utječu na odabir sredstva primarnog transporta drva odnosno metode primarnog transporta.

Postoje četiri glavne metode pridobivanja drva: sortimentna, deblovna, poludeblovna i stablovna. U Republici Hrvatskoj uglavnom se primjenjuju sortimentna (eng. Cut-to-length) metoda i deblovna (eng. Tree-length) metoda, najčešće u inačici poludeblovne (eng. Half-tree-length) metode. Stablovna (Full-tree, Whole-tree, Complete-tree) metoda koristi se rijetko i to isključivo u inačici pridobivanja nadzemne biomase (Krpan i Poršinsky 2002).



Slika 1. Metode pridobivanja drva

(Izvor: Krpan i dr. 2003)

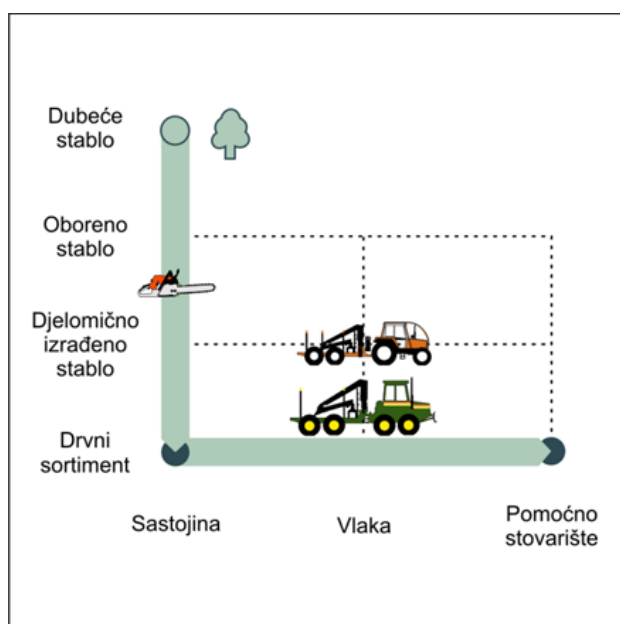
Pojedini autori (Slabak 1983, Slabak 1987, Vusić 2013, Vusić i Đuka 2015) navedenim metodama u zadnje vrijeme pridodaju i metodu iveranja. Slijedeći definiciju metode pridobivanja drva, metoda bi se iveranja odnosila samo na slučaj u kojemu se drvna sječka proizvodi na sječnoj jedinici i zatim transportira na stovarište, npr. prilikom pridobivanja drvne sječke modificiranim silažnim kombajnom iz kultura kratkih ophodnji ili primjenom mobilnog iverača (na forvarderu) sa tovarnim prostorom za iveranje šumskog ostatka u sječini. Primjena iverača na pomoćnom stovarištu doduše može utjecati na izbor, modifikaciju i funkcioniranje sustava pridobivanja drva, ponajprije u logističkom smislu; no ne u mjeri koja bi direktno mijenjala metodu pridobivanja drva. Prije se može smatrati doradom/izradom prethodno pridobivene sirovine jednim od postojećih sustava pridobivanja drva.

Različite inačice pojedinih sustava pridobivanja drva s obzirom na glavne sastavnice (strojeve) i različite metode pridobivanja drva uobičajeno je prikazivati u grafičkom obliku. Često korišten način prikaza inačica sustava pridobivanja drva jest metoda funkciograma koju preporuča KFW (Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik), a razvili su je i opisali Erler i Dög (2009). Navedeni grafički prikaz na jednostavan i jasan način predložuje dijelove sustava i glavne procese. U vertikalnoj ravnini opisuje tijek pretvorbe dubećeg stabla u drvni sortiment, a u horizontalnoj ravnini postupke transporta drva od panja do stovarišta (Vusić 2013).

Pri sortimentnoj metodi koja se naziva i „klasičnom“ metodom stabla se obaraju, krešu se grane i izrađuju sortimenti prema važećim normama na mjestu sječe. Sječa i izradba drva sortimentnom metodom obavlja se ili ručno-strojno primjenom motorne pile ili potpuno mehanizirano primjenom harvester. Krpan i Poršinsky (2004) ističu kako je osnovna značajka sortimentne metode i njena primjenjivost pri svim uzgojnim zahvatima (prorede, oplodne sječe, preborne sječe). Drvo izrađeno sortimentnom metodom izvozi se po šumskom bespuću najčešće forvarderima (i traktorskim ekipažama), a moguće je primjena i ostalih sredstava privlačenja drva po tlu, odnosno sredstava iznošenja drva.

Sortimentna je metoda prihvatljivija u gustim i prorednim sastojinama od metoda pri kojima se izrađuje oblo drvo većih duljina (Bojanin i Krpan 1997). Važna prednost primjene sortimentne metode i izvoženja drva jest i manje oštećivanje tla u odnosu na privlačenje drva iz razloga što se drvo u pravilu izvozi na kotačima (forvarderom) pri čemu se tlo oštećuje samo voznim sustavom vozila u odnosu na privlačenje drva skiderima gdje se tlo oštećuje i voznim sustavom, ali i vučenim drvom (Rummer 2002).

U hrvatskom se šumarstvu u primjeni sortimentne metode prikrajanje pri izradi tehničke oblovine obavlja prvenstveno uvažavajući kakvoću (eng. Buck-to-quality), a prikrajanje na utovarne duljine (eng. Cut-to-length) primjenjuje se pri izradi višemetarskog prostornog drva.



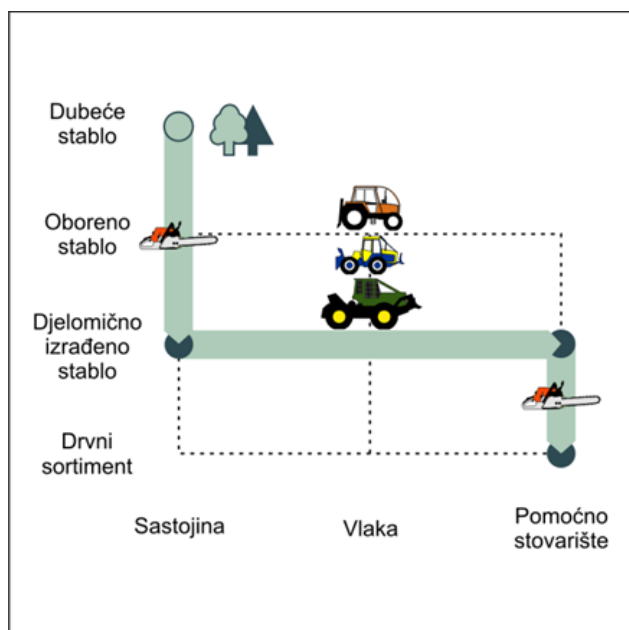
Slika 2. Funkciogram djelomično mehaniziranog sustava pridobivanja drva sortimentnom metodom

(Izvor: Vusić 2013)

U vremenu kada se primarni transport nije obavljao specijalnim šumskim vozilima, sortimentna je metoda često bila jedina opcija s obzirom da je omogućavala prilagodbu mase tovara mogućnostima animalne vuče. Promjene u pridobivanju drva nastale uvođenjem novih tehnologija pri sječi, izradbi, a posebice primarnom transportu drva, šezdesetih godina prošlog stoljeća dovele su do uvođenja novih metoda pridobivanja drva. Uz sortimentnu metodu uvode se deblovna, poludeblovna i stablovna metoda.

Deblovna je metoda uvedena s primjenom zglobnih traktora – skidera, značajno veće vučne snage u odnosu na animalnu snagu i velikoserijske traktore manje snage. Karakteristika deblovnne metode jest selidba izradbe drvnih sortimenata iz sječine na pomoćno stovarište; u sječini se vrši samo kresanje grana, a nakon privlačenja cijelog debla od panja do pomoćnog stovarišta izrađuju se sortimenti u skladu s propisanim normama. Primjenjuje se na nagnutim terenima u brdovitim područjima najčešće u oplodnim sječinama jednodobnih šuma. Primjena deblovnne metode uvjetuje prostornu i vremensku integraciju izvođenja šumskih radova, odnosno primjenu skupnog rada.

Poludeblovna metoda je u suštini evolucija deblovnne metode u cilju povećanja okolišne pogodnosti. Nakon obaranja stabala, u sječini se obavlja kresanje grana i trupljenje debla na dva ili tri dijela te se zatim poludebla privlače do pomoćnog stovarišta. Na navedni se način nastoji smanjiti oštećivanje dubelih stabala, pomlatka i šumskog tla. Poludeblovna metoda, kao i deblovna, uvjetuje prostornu i vremensku integraciju radova sječe, djelomične izradbe, privlačenja i izradbe drvnih sortimenata koja se postiže primjenom skupnog rada (Vusić 2013). U slučaju pridobivanja prostornog drva istim sustavom, u sječini se izrađuje i višemetarsko prostorno drvo standardnih utovarnih duljina (ili njihovih višekratnika).



Slika 3. Funkciogram djelomično mehaniziranog sustava pridobivanja drva poludeblovnom metodom

(Izvor: Vusić 2013)

Petreš (2006) je utvrdio da primjena deblovne i poludeblovne metode uzrokuje značajno manje oštećenje mladog naraštaja prilikom provlačenja drva nego što je to kod primjene sortimentne metode. Kao razloge navodi manji broj čela trupaca koja se privitlavaju pri formiranju tovara te smanjenje površine po kojoj se pojedinačni komadi privitlavaju.

Stablovna metoda – nakon sječe cijelo se stablo (uključujući i krošnju) transportira do pomoćnog stovarišta. Stablo se najčešće doprema žičarom do pomoćnog stovarišta gdje se izrađuje tehnička oblovina i višemetarsko drvo, a grane i ovršak mogu se koristiti u obliku sječke kao energent. Stablovna metoda dolazi u više inačica, ovisno o tome koristi li se samo nadzemna biomasa stabla ili i panj bez ili s dijelom korijenja (Vusić 2013).

Primjenom deblovne i poludeblovne metode prilikom provlačenja drva skiderima, u odnosu na sortimentnu metodu, skraćeno je vrijeme transporta drva od mjesta sječe do pomoćnog stovarišta. Utrošak vremena pojedinih radnih zahvata značajno se smanjuje sukladno zakonu obujma komada, a istovremeno se povećava obujam tovara što rezultira smanjenjem broja potrebnih turnusa privlačenja, odnosno većom proizvodnošću primarnog transporta. No, primjenom deblovne, poludeblovne i stablovne metode pridobivanja drva pred pomoćna stovarišta postavljaju se veći zahtjevi glede površine i unutarnje organizacije kretanja izvršitelja, strojeva i drva jer ona postaju mjesto potpune ili djelomične izradbe drva.

2.2. Utjecajni čimbenici

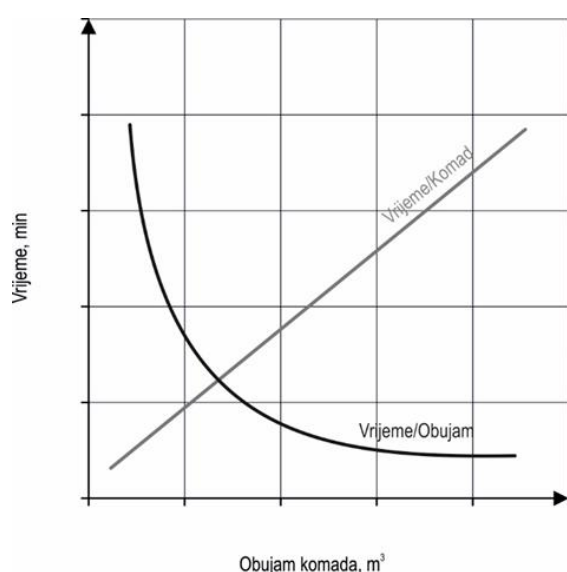
Na proizvodnost, a samim time i na troškove pridobivanja drva, utječu razni unutarnji i vanjski čimbenici. Vanjski čimbenici, izvan utjecaja izvođitelja radova, uključuju dostupnost kvalificirane radne snage, državnu politiku, sustav oporezivanja, postojeću infrastrukturu, dostupnost kapitala i kamatne stope. Unutarnji čimbenici, koji su pod nadzorom izvođitelja radova, jesu pravilan odabir mehanizacije, utrošak sredstava (vrijeme, kapital, energija i sl.), obuka i kontrola osoblja.

No, za proizvodnost sustava pridobivanja drva prvenstveno se može istaknuti sastojinske čimbenike (dimenzije doznačenih stabala, ostale značajke šumske sastojine, šumske prometnice i teren) kao ključne za odabir sredstava i metoda rada.

Dimenzije doznačenih stabala

Dimenzije stabala utječu na proizvodnost pridobivanja drva sukladno zakonu obujma komada (Speidel 1952). Utrošak vremena po komadu predstavlja vrijeme potrebno za sječu i izradbu komada oblog drva. Logično, za sječu i izradbu komada oblog drva većih dimenzija potrebno

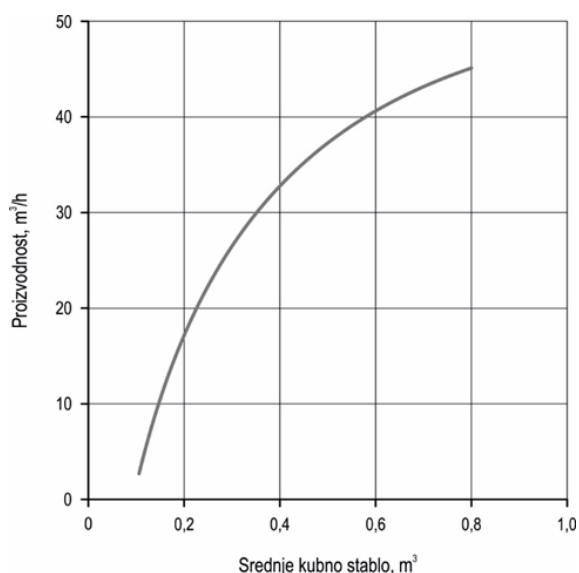
je utrošiti više vremena negoli za sječu i izradbu komada oblog drva manjih dimenzija, a navedeni je odnos utroška vremena i obujma komada linearan. No, istovremeno se utrošak vremena promatran po jedinici obujma eksponencijalno smanjuje s povećanjem obujma komada oblog drva, što rezultira porastom proizvodnosti. Navedena zakonitost ima odlučujući utjecaj na proizvodnosti sječe i izradbe drva, ali i na proizvodnost primarnog transporta drva, bilo privlačenjem gdje utječe na utrošak vremena privitlavanja, vezivanja i odvezivanja tovara, bilo izvoženjem gdje utječe na utrošak vremena utovara i istovara te iskorištenje tovarnog prostora. Doduše, kod izvoženja, posebice prilikom istovara (ali i utovara prethodno uhrpanog oblog drva) navedeni je utjecaj bitno manji negoli kod privlačenja s obzirom da se jednim zahvatom hvatala može istovariti veći broj komada oblog drva manjih promjera.



Slika 4. Odnos između obujma komada i utroška vremena

(Izvor: South African Ground Based Harvesting Handbook 2010)

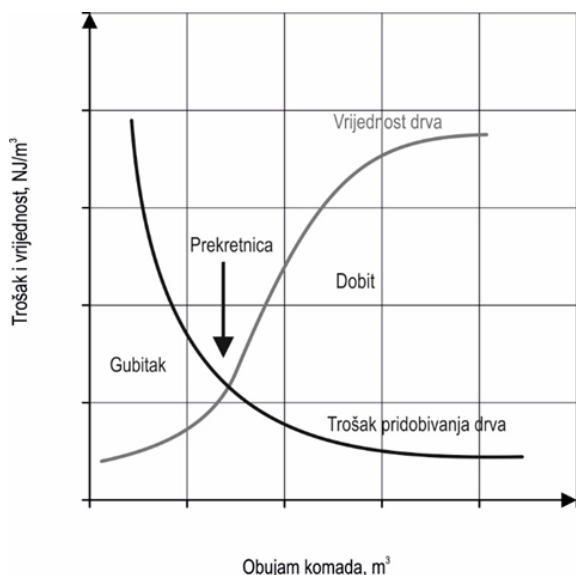
Za ilustraciju može poslužiti primjer utjecaja srednjeg kubnog stabla na proizvodnost harvesteri koja ima trend eksponencijalnog porasta. Međutim, mora se uzeti u obzir da postoji točka u kojoj će stabla velikih dimenzija imati negativan učinak na troškove i produktivnost jer korišteni strojevi imaju određene maksimalne tehničke mogućnosti (npr. maksimalni sječni promjer harvesterke glave, vučna sila skidera).



Slika 5. Odnos između srednjeg kubnog stabla i proizvodnosti harvestera

(Izvor: South African Ground Based Harvesting Handbook 2010)

Kada se zakon obujma komada promatra kroz prizmu odnosa troškova pridobivanja drva njegov je utjecaj još izraženiji s obzirom na činjenicu da sječa stabala manjih dimenzija rezultira izradbom sortimenata manjih dimenzija i manje jedinične vrijednosti, ali i većim jediničnim troškom pridobivanja drva.

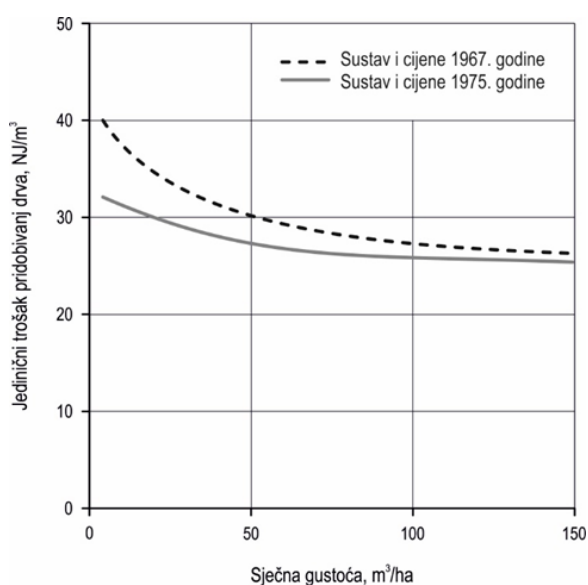


Slika 6. Odnos između obujma komada, vrijednosti drva i troškova pridobivanja

(Izvor: South African Ground Based Harvesting Handbook 2010)

Ostale značajke šumske sastojine

Pri odabiru sredstava i metoda pridobivanja drva važan preduvjet jest poznavanje sastojinskih značajki. Prvenstveno se ovdje misli na taksacijske parametre, vrste drveća i njihove drvene zalihe, ali i na sječnu gustoću koja pak ovisi i o vrsti sječe. S obzirom na navedene utjecajne čimbenike prepoznata je zakonitost obujma proizvodnje, koja na razini ukupne količine drvnog obujma u sječini uvjetuje odabir sustava pridobivanja drva, a na razini sječne gustoće uvjetuje proizvodnost odabranoga sustava te zakonitost vrste proizvoda koja troškovno pogodnijom definira proizvodnju jednoličnih proizvoda od proizvodnje raznolikih proizvoda (Grammel 1988 prema Vusić 2013).



Slika 7. Odnos između jediničnog troška pridobivanja drva i sječne gustoće

(Izvor: South African Ground Based Harvesting Handbook 2010)

Šumske prometnice

Mreža šumskih prometnica velike gustoće (m/ha, km/1000 ha) zahtijeva velika ulaganja u izgradnju i održavanje šumskih prometnica. No, relativno malen međusoban razmak između prometnica smanjuje srednju udaljenost primarnog transporta drva, odnosno omogućuje veću proizvodnost i manji jedinični trošak primarnog transporta u usporedbi s relativno malenom gustoćom šumskih prometnica. Između dvije krajnosti postoji točka optimalnog razmaka između šumskih prometnica gdje su troškovi, i izgradnje i održavanja i pridobivanja drva, minimizirani.

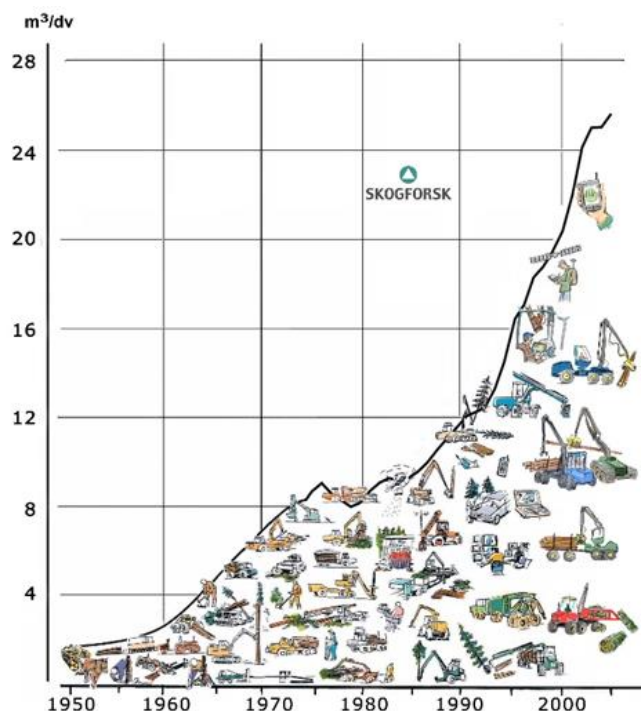
Teren

Teren i terenski uvjeti važni su čimbenici koji utječu na odabir sustava i metode pridobivanja drva. Terenski uvjeti imaju direktan utjecaj na vrstu opreme i mehanizacije koja će se koristiti u radovima pridobivanja drva, kao i prethodno planiranje tih radova. Važne značajke terena jesu nosivost tla, površinske prepreke i nagib. Nosivost tla određena je tipom tla, sadržajem gline u tlu te vlažnošću tla; površinske prepreke podrazumijevaju kamenje, panjeve oborenih stabala, trula i mrtva stabla na tlu i sl.; a nagib tla koji se izražava u stupnjevima ili postocima predstavlja ograničavajući faktor za kretnost vozila (KWF 2008).

Sustavi pridobivanja drva na tlu ograničeni su nagibom u rasponu od 0 % do 60 %, na kojem se ručno-strojni radovi mogu izvoditi u skladu sa sigurnosnim zahtjevima ili na kojem kotačni i/ili gusjenični strojevi mogu izvoditi sječu, izradbu i primarni transport te se općenito kretati bez opasnosti od prevrtanja (South African Ground Based Harvesting Handbook 2010). Na nagibu većem od 60 % primarni transport drva obavlja se zračnim sustavima pridobivanja drva, odnosno žičarama, a u nekim slučajevima i helikopterima. Kotačna vozila mogu se kretati po nagibu do oko 35 %, a u slučaju da su opremljena gusjenicama mogu savladavati nagibe i do 45 %. Strojevi koji su konstruirani za rad na strmim i zahtjevnim terenima mogu raditi na nagibu do 60 %. Jedan od primjera rada na strmom terenu od 30 % do 50 %, kada je riječ o sustavima pridobivanja drva na tlu, jest zajednički rad harvesteri i forvarderi opremljenih vitlom, opreme posebno razvijene za rad na strmom terenu u Alpama (KWF 2008).

2.3. Razvoj sustava pridobivanja drva

Sustavi pridobivanja drva razvijali su se različitom brzinom širom svijeta u posljednjih 50 godina. U industrijaliziranim regijama kao što su Sjeverna Amerika, Skandinavija i pojedini dijelovi Europe, taj je razvoj imao veliku važnost u poboljšanju učinkovitosti korištenja sirovina i istovremeno povećanju proizvodnosti rada.



Slika 8. Trend porasta proizvodnosti u Švedskoj

(Izvor: www.skogforsk.se)

Na razvoj tehnologije i strojeva u pridobivanju drva u Republici Hrvatskoj osobito utječu čimbenici vezani uz posebnosti u načinu gospodarenja šumama (Tomašić 2012). U Hrvatskoj se drvo najčešće pridobiva djelomično mehaniziranim sustavima. Sječa i izradba donedavno nije bila visoko mehanizirana, već su se uglavnom primjenjivale motorne pile. Primarni je transport drva većinom mehaniziran, a izbor strojeva i metoda najviše ovise o načinu gospodarenja, vrstama sječe, nagnutosti terena i terenskim preprekama (Tomašić 2012). Pored skidera i forvardera, čija je namjena isključivo primarni transport drva, za privlačenje drva u Republici Hrvatskoj koriste se i nadograđeni poljoprivredni traktori s vitlom koji predstavljaju početak mehaniziranja šumskih radova, dok je primjena žičara u hrvatskome šumarstvu zanemariva (Đuka 2014).

U Republici Hrvatskoj uvođenje mehaniziranih sredstava pridobivanja drva počinje tijekom 50-ih godina prošloga stoljeća kada su u sječi i izradbi korištene prve motorne pile kojima su rukovala dvojica radnika, no njihova primjena nije zaživjela zbog nepraktičnosti rukovanja. Tek desetljeće kasnije, početkom šezdesetih, nastupio je drugi pokušaj mehaniziranja sječe i izradbe motornim pilama, kojima je radio jedan radnik, a taj je pokušaj bio uspješan te primjena

motornih pila traje sve do današnjih dana, uz konstantno uvođenje poboljšanih i suvremenijih inačica tih strojeva (Tomašić 2012). Uvođenjem motornih pila za sječu i izradbu drva te početkom upotrebe poljoprivrednih traktora na radovima privlačenja i transporta drva, mnogi su, dotad isključivo ručni radovi, prešli iz 0. u 1. stupanj mehaniziranosti (Sever 1993). Iako je navedena tranzicija predstavljala prekretnicu u dotadašnjem izvođenju šumskih radova, prvenstveno zbog olakšanja fizičkih opterećenja radnika, odnosno zamjene ručnoga rada čovjeka radom uz pomoć mehaniziranoga sredstva, tada se još ne može govoriti o oblikovanju metoda izvođenja šumskih radova prilagođenih posebnostima načina gospodarenja i terenskih uvjeta jer su do izražaja dolazili brojni nedostaci upotrebljavanih strojeva zbog njihove neodgovarajuće prvotne namjene (Horvat i Tomašić 2003).

Početkom 60-ih godina za privlačenje se drva uvode adaptirani poljoprivredni traktori. Ugrađuju se jednobubanjska i dvobubanjska vitla te se drvo i drvni sortimenti skupljaju i privlače iz ranije nepovoljnih i nedostupnih dijelova šuma u nepristupačnim terenskim i stanišnim uvjetima rada pa se značajno mijenjaju metode pridobivanja drva. Tako se, na primjer, klasični način izradbe sortimenata u sječini sve uspješnije zamjenjuje izradbom sortimenata na pomoćnim i glavnim stovarištima, odnosno na međustovarištima. Rezultati su takvog rada veća iskorištenost kapaciteta šumskih strojeva, veća proizvodnost rada, ekonomičnost te naposljetku i humanizacija rada (Zečić i dr. 2019).

Prvi specijalizirani šumski zglobni traktori za privlačenje drva po tlu (skideri) počinju se u hrvatskom šumarstvu primjenjivati 1968. godine nakon čega kreće intenzivno mehaniziranje pridobivanja drva.

Usporedno s uvođenjem novih strojeva započela je izobrazba radnika i intenziviran je znanstveno-istraživački rad. Ponuđena su rješenja domaćih stručnjaka u razvoju radnih sredstava i tehnologije, izrađene su tehničke norme i započeta su istraživanja ergonomske značajki strojeva (Zečić 2006 prema Požega 2015). Ciljevi mehaniziranja ove sastavnice pridobivanja drva jesu: podizanje proizvodnosti, sniženje troškova proizvodnje, ergonomski povoljniji rad te izbjegavanje krize ponude radne snage za rad u poslovima pridobivanja drva (Krpan 2000).

Strojevi koji se danas primjenjuju za primarni transport drva u hrvatskom šumarstvu jesu skideri, forvarderi i traktorske ekipaže. Skideri se uglavnom primjenjuju na nagnutim terenima, a forvarderi i traktorske ekipaže u nizinskim i blago brežuljkastim područjima. Prednost primarnoga transporta drva forvarderima i traktorskim ekipažama jest ta da nema vuče drva po

tlu, već se drvo izvozi na kotačima. Glavni je nedostatak što takva vozila moraju prići do drvnoga sortimenta u dohvat hidraulične dizalice kako bi se obavio utovar, a posljedica čega je veće gaženje tla, posebno u slučaju izostanka organizacijskih mjera u vezi s kontroliranim kretanjem strojeva po sastojini po izvoznim putovima. Forvarderi se primjenjuju kao radno sredstvo za izvoženje drvnih sortimenata u oplodnim sječama, ali i u prorjedama u sastojinama koje su već pri kraju ophodnje, dok se traktorske ekipe primjenjuju uglavnom u prorjedama te rijetko i u oplodnim sječama (Pandur i dr. 2018).

Horvat (1993) smatra da mehanizacija koja se koristi u postupcima primarnoga transporta drva nije sama sebi svrha, već je njezina uloga, osim zamjene ljudskoga rada strojnim, povećanje mogućnosti da se dosegne optimalno funkcioniranje šume. Također, navodi i da primjena mehanizacije svakako ima i negativne posljedice koje se opažaju kao štete na šumskoj sastojini i staništu.

2.4. Cilj rada

Za cilj rada je postavljeno, na temelju izvora literature, prikazati trendove razvoja pojedinih mehaniziranih sustava pridobivanja drva s posebnim naglaskom na mogućnost primjene pojedinih sustava u šumama Republike Hrvatske i njihovu pogodnost prvenstveno s obzirom na proizvodnost (i troškove).

3. MATERIJAL I METODE

Podlogu za prikaz trendova razvoja pojedinih mehaniziranih sustava pridobivanja drva s posebnim naglaskom na mogućnost primjene pojedinih sustava u šumama Republike Hrvatske predstavljaju znanstvene objave u domaćim časopisima za pregled dosadašnjeg razvoja sustava pridobivanja drva u Republici Hrvatskoj, odnosno znanstvene objave u domaćim i međunarodnim časopisima za pregled očekivanih trendova razvoja sredstava rada i metoda pridobivanja drva.

Analizom osnovnih značajki pojedinih sustava pridobivanja drva, odnosno sredstava i metoda rada te sintezom prikupljenih informacija opisan je razvoj pojedinih sustava pridobivanja drva u Republici Hrvatskoj od početka mehaniziranja radova, preko trenutne situacije i projekcije smjerova razvoja i primjenjivosti pojedinih sredstava i metoda rada, odnosno sustava pridobivanja drva u šumama Republike Hrvatske u budućnosti.

4. REZULTATI

Rezultati su sistematizirani s obzirom na način primarnoga transporta drva uvažavajući činjenicu da metodu pridobivanja drva određuje oblik u kojem se drvo doprema na pomoćno stovarište, a ključni parametar koji definira oblik drva prilikom transporta je upravo sredstvo transporta.

4.1. SUSTAVI PRIDOBIVANJA DRVA PRIVLAČENJEM

Primarni transport drva privlačenjem obavlja se uporabom sredstava rada koji omogućuju vuču drva po tlu. Animalna sredstva rada kao i prvi strojevi u početku mehaniziranja radova privlačenja drva podrazumijevala su vuču drva potpuno oslonjenog na tlo, a razvojem mehaniziranih sredstava rada omogućuje se učinkovitija i okolišno pogodnija vuča drva s jednim odignutim krajem. Ovisno o mogućnostima sredstava primarnog transporta te terenskim i sastojinskim čimbenicima odabire se prikladna metoda pridobivanja drva. U sustavima pridobivanja drva privlačenjem moguće je, za razliku od, primjerice sustava pridobivanja drva izvoženjem, primijeniti sve metode pridobivanja drva (s obzirom da ne postoji ograničenje u vidu tovarnoga prostora). Ipak, u pogledu učinkovitosti preferiraju se metode čijom se primjenom smanjuje vrijeme potrebno za sakupljanje tovara. Uobičajena metoda pridobivanja drva (polu)deblovnom metodom karakteristična je za djelomično mehanizirane sustave pridobivanja drva, dok se u mehaniziranim sustavima pridobivanja drva privlačenjem najčešće koristi stablovna metoda.

4.1.1. Povijesni pregled

Primarni se transport tehničkog oblog drva, do Drugog svjetskog rata vršio konjskom vučom, a prostorno se drvo izvozilo, sanjkalo te iznosilo tovarnim konjima (samaricama); kako se drvo prevozilo šumskim željeznicama, posječeno se drvo moralo privlačiti do šumskih pruga (Bojanin 1986). Privlačenje drva animalnom snagom (konji, volovi, magarci, mule...) značajno je za razdoblje do početka primjene mehaniziranog privlačenja drva, a karakteriziraju ga relativno mala ulaganja, nužnost stalne briga o životinjama te relativno malena učinkovitost. Smanjenje ponude animalne snage uvjetovano generalnim trendom mehaniziranja radova, primjerice u poljoprivrednoj proizvodnji, neminovno je utjecalo i na nemogućnost obavljanja radova privlačenja drva u željenom obujmu i željenim intenzitetom. Nadalje, nemogućnost adekvatnog financijskog vrednovanja izrazito napornog fizičkog rada radnika i općeniti pad interesa za fizički zahtjevnije poslove kao logična posljedica industrijalizacije, uvjetovali su sve izraženiji trend prelaska ka mehaniziranom načinu privlačenja drva koje je istovremeno bilo

omogućeno tada dostupnim tehničko-tehnološkim rješenjima. Benić već 1950. piše kako se u svijetu sve više pažnje poklanja mehaniziranju privlačenja drva; ističe prednosti (manje troškove i brži transport), ali i nedostatke skidera (oštećenje šumskog tla).

Početak intenzivnog mehaniziranja privlačenja drva u hrvatskom šumarstvu počinje krajem 60-ih godina prošlog stoljeća. Postupno se u radove privlačenja drva uvode klasični poljoprivredni traktori koji se s vremenom opremaju opremom za rad u šumarstvu, a nakon njih uvode se specijalni šumski zglobni traktori – skideri sa svrhom povećanja učinka, smanjenja potrebnog broja radnika, humanizacija rada te smanjenje troškova po jedinici proizvoda (Zečić i dr. 2010). Uvođenje traktora za privlačenje drva nije u potpunosti i odmah istisnulo primjenu animalne vuče. Tako Tomić 1975. piše da se u nizinskim šumama prostorno drvo izvozilo (kolsko-konjskom zapregom), a u prigorskim i brdskim šumama iznosilo tovarnim konjima (samaricama), dok su traktori primarno angažirani na privlačenju oblog (tehničkog) drva. Primjerice, u istom razdoblju Rebac (1976) ističe da su troškovi rada animalom u konstantnom porastu radi sve manje njihove ponude. Navodi dobre rezultate postignute primjenom traktora domaće proizvodnje IMT-558 i IMT-533 opremljeni vitlima IGLAND, a za skidere Timberjack 208-D i KOCKUM 812 ističe da su, iako kao nova sredstva rada još uvijek u fazi uhodavanja, dali dobre rezultate i opravdali svoje uvođenje u radove pridobivanje drva. Tvrdnju potkrepljuje činjenicom da „ni jedna organizacija šumarstva, koja je počela raditi zglobnim traktorima nije od njih odustala, već je prilagođavala tehnologiju rada uvjetima i zahtjevima suvremenih strojeva“.

Uporaba poljoprivrednih traktora predstavlja početak mehaniziranog privlačenja drva. U početku su poljoprivredni traktori korišteni bez ikakvih prilagodbi za privlačenje drva jednostavnim prihvatnim napravama, ali s vremenom se, zbog tehničkih zahtjeva za izvođenje radova privlačenja drva, dodatno opremaju zaštitnim konstrukcijama i vitlima (adaptirani poljoprivredni traktor). Adaptacija poljoprivrednog traktora podrazumijeva ugradnju osnovne ROPS, FOPS i OPS zaštite, zaštitne konstrukcije tj. zaštitne mreže na prozorima traktorske kabine, dodatnih utega na prednjem dijelu traktora, zaštitnih pojaseva, odgovarajućeg sustava kočenja i dr. Dodatno, svi traktori koji se koriste za transport drva po javnim cestama moraju biti tehnički usklađeni s važećim prometnim zakonima (South African Ground Based Harvesting Handbook 2010). No, adaptirani se poljoprivredni traktor pokazao kao izuzetno nestabilno vozilo pri privlačenju drva, i to zbog nepovoljnog rasporeda opterećenja po osovinama (kod praznog traktora 1/3 mase na prednjoj osovini, a 2/3 na stražnjoj). Navedeni neravnomjeran raspored masa dodatno se povećava ugradnjom vitla na stražnjem kraju traktora,

a da bi se on izjednačio, na prednji dio traktora obično se ugrađuju utezi. Pri privlačenju drva, prevelika opterećenja na stražnjoj osovini uzrokuju poremećaj uzdužne stabilnosti traktora i smanjenje njegove vučne sposobnosti (Požega 2015).



Slika 9. Adaptirani poljoprivredni traktor opremljen „jarmom“

Uporabom adaptiranog poljoprivrednog traktora formiran je djelomično mehanizirani sustav pridobivanja drva privlačenjem. Sječa i izradba drva izvodi se motornom pilom. Idealna je primjena poludeblova metode uz izradbu sortimenata na stovarištu, no u slučaju kada bi masa poludebala nadilazila vučnu silu adaptiranog poljoprivrednog traktora može se primijeniti i sortimentna metoda (ponekad i vrlo uspješno ako je za formiranje tovara dovoljno svega nekoliko ili samo jedan sortiment).

Učinkovitost adaptiranog poljoprivrednog traktora pod izrazitim je utjecajem obujma tovara (koji je relativno malen), srednje udaljenosti privlačenja i terenskih čimbenika (površinske prepreke, vodeni tokovi i sl.). Optimalna udaljenost privlačenja iznosi oko 100 m zbog nemogućnosti formiranja tovara većeg obujma sukladno tehničkim karakteristikama adaptiranog poljoprivrednog traktora. Primjenjivost adaptiranog poljoprivrednog traktora prvenstveno je ograničena kretnošću; uzdužnim nagibom terena od ± 10 (20) % te njegovom izrazitom osjetljivošću na bočni nagib terena. Kao glavne prednosti adaptiranog poljoprivrednog traktora ističu se niski kapitalni troškovi, jednostavno održavanje, popravci i dostupnost rezervnih dijelova.

Može se zaključiti da primjena adaptiranih poljoprivrednih traktora nakon pojave skidera treba biti opcija isključivo u slučaju nužnosti povećanja godišnjeg iskorištenja uzgojnih traktora i neodgodive potrebe za navedenim kapacitetima (rjeđe) ili u slučaju korištenja na manjim šumoposjedima.



Slika 10. Poljoprivredni traktor opremljen vitlom i „kolicima“ (Italija)

Bojanin i dr. (1976) ističu da se u počecima mehaniziranja radova na privlačenju drva primjenjivala sortimentna metoda pridobivanja drva, a kao razlog navode činjenicu da su tada za privlačenja drva korišteni lakši adaptirani poljoprivredni traktori.

S obzirom na činjenicu da su s vremenom adaptirani poljoprivredni traktori pokazali izvjesne nedostatke pri privlačenju drva, čiji uzroci leže u njihovoj prvotnoj namjeni, krajem 60-ih godina prošlog stoljeća u hrvatsko šumarstvo ulaze u primjenu specijalni šumski strojevi. Razdoblje od 1964. – 1969. Tomičić (1986.) karakterizira kao razdoblje utiranja puta i dokazivanja mogućnosti privlačenja drva traktorima. Specijalni zglobni traktori, skideri i forvarderi, pojavljuju se 1968. godine, a 1969. godina se uzima kao početak intenzivnog mehaniziranja privlačenja drva u Republici Hrvatskoj.

Zbog ranije navedenih nedostataka adaptiranih poljoprivrednih traktora za potrebe privlačenja drva, razvijaju se specijalizirani, zglobno upravljani, šumski traktori – skideri.

Namijenjeni su privlačenju drva po traktorskim putevima i vlakama te šumskomu bespuću, za koje je znakovito da vučena oblovina jednim krajem dodiruje tlo (Sever i Horvat 1985).

Skideri su prema normi ISO 6814:2000, revidirano prema 6814:2009 (*Machinery for forestry – Mobile and self-propelled machinery – Terms, definitions and classification*) definirani kao šumski zglobni samohodni strojevi za privlačenje stabala ili dijelova stabala.

Prema načinu zahvata stabala ili dijelova stabala prilikom privlačenja, skideri se mogu razvrstati na:

- skidere s vitlom (*cable skidder*),
- skidere s kliještima (*grapple skidder*),
- skidere s kliještima i kranom (*clambunk skidder*).



Slika 11. Skider s vitlom



Slika 12. Skider s kliještima



Slika 13. Skider s kliještima i kranom

Šasija se skidera sastoji od dvaju odvojenih okvira: prednjeg pogonskog dijela vozila i stražnjeg, koji je istovremeno i nosač zaštitne daske i vitla, a koji su spojeni zgloбно, s mogućnošću gibanja samo u vodoravnoj ravnini, dok se poprečno prilagođavanje terenu omogućuje njihanjem prednje osovine (potrebno radi povećanja njegove kretnosti po šumskom bespuću). Osim zglobnog upravljanja, osnovna je značajka skidera pogon na sva četiri kotača

istih dimenzija te opterećenje prednje osovine neopterećenog vozila s približno 2/3 ukupne mase vozila, što mu omogućuje bolju kretnost pri privlačenju drva na nagnutim terenima (Sever i Horvat 1985, Sever 1990, Šušnjar 2005).

Zanimljivo je da Krivec (1976) razdoblje od 1960. do 1970. godine naziva razdobljem djelomične mehanizacije za koje je značajno da se u razvoju išlo dva koraka naprijed, a jedan nazad, budući da su zadržane stare tehnologije i metode rada, a počeli su se upotrebljavati moderni strojevi.

Tomičić (1975) zaključuje da je promjena tehnologije sječe i izradbe nužna za učinkovit rad sustava privlačenja drva. Neophodnim smatra prostorno drvo izrađivati u obliku višemetarskog oblog drva i na taj način primarni transport prostornog drva integrirati s transportom oblog tehničkog drva, omogućujući pri tom veće godišnje iskorištenje sredstava privlačenja i potpunu zamjenu animalne vuče mehaniziranom.

Tomičić (1986) piše da se do pojave specijalnih šumskih traktora, skidera i forvardera, primjenjivala gotovo isključivo sortimentna metoda sječe i izradbe drva, a uvođenjem specijalnih šumskih traktora veće vučne snage, sortimentna se metoda sve više napušta i prelazi se na privlačenje cijelih stabala s krošnjama i privlačenje cijelih debala. Bojanin već 1971. godine daje osnovne smjernice za učinkovitu primjenu skidera. Preporuča usmjereno obaranje stabala, vuču što duže oblovine ovješene debljim krajem i izradbu sortimenata na pomoćnom stovarištu; dakle primjenu deblovne metode pridobivanja drva. Bojanin i dr. (1976) dodatno ističu obrnuto proporcionalni odnos obujma tovara i troškova rada i ponovno sugeriraju primjenu deblovne metode gdje god to uvjeti rada i mogućnosti dozvoljavaju. Nežić (1972) u cilju povećanja učinkovitosti i rentabilnosti skidera predlaže čak i privlačenje cijelih stabala uz konkretne prijedloge u cilju smanjenja šteta na mladom naraštaju i preostalim stablima. Operativna primjena navedene metode nikada nije zaživjela u našem šumarstvu ponajprije zbog ograničene mogućnosti dostizanja prihvatljive razine oštećenja u sastojini. No, navedeni autor ispravno zaključuje da je za učinkovit rad skidera u prebornim šumama nužno na jednom mjestu formirati adekvatan tovar, što je najčešće i moguće s obzirom na način gospodarenja i dimenzije doznačenih stabala. Bojanin i Sever (1979) pri komparativnom istraživanju primjene deblovne i poludeblovne metode (privlačenje duge oblovine) utvrđuju veći učinak i manji trošak rada kod privlačenja deblovnom metodom. Bojanin i Sever (1979) navode da se s primjenom traktora na privlačenju drva sortimentna metoda rada sve više napušta, a uvode se deblovna i poludeblovna metoda (metoda duge oblovine). Zanimljivo svjedočanstvo o primjeni skidera s kliještima i kranom OSA 260 donosi Kulaš (1979) i ističe da kod izbora prikladne mehanizacije u

pridobivanju drva, osim ekonomskih, treba naglasiti i važnost uzgojnih parametara. Bojanin (1981) navodi da se prilikom uporabe srednjeteških i teških zglobnih traktora za privlačenje drva primjenjuje uglavnom deblovna, a izuzetno stablovna metoda. Isti autor 1986. navodi da se kod vuče drva po tlu primjenjuje deblovna i poludeblovna metoda, metoda utovarnih duljina, rjeđe sortimentna metoda, a kod primjene deblovne i poludeblovne metode izrade drva na pomoćnom se stovarištu vrši trupljenje u sortimente.

O utjecaju primarnog transporta na cjelokupni sustav pridobivanja drva privlačenjem dragocjen je podatak koji iznose Vondra i Bogojević (1994) prilikom istraživanja primjene skidera Ecotrac V. Utvrđuju da troškovi privlačenja u troškovima pridobivanja drva na konkretnom radilištu sudjeluju sa 78 %, sječe i izradbe s 13 %, a rad na pomoćnom stovarištu s 9 %.

Bojanin i Krpan (1994) zaključuju da se u prvim proredama primjenjuje sortimentna metoda, a s povećanjem starosti sastojine prelazi se na primjenu deblovne i poludeblovne metode. Isti autori ističu da se primjenom deblovne metode kod kasnijih proreda učinak povećao za 29 % u odnosu na sortimentnu metodu. Bojanin i Krpan, (1997) navode da se, s obzirom na zaštitu šuma, proizvodnost rada i ekonomičnost pri radovima pridobivanja drva, primjenjivala prvo sortimentna, pa deblovna, odnosno poludeblovna metoda.

Prorede kao izrazito zahtjevno okruženje za provođenje radova pridobivanja drva ističu i Tomanić (1998) i Štefančić (1989). Tomanić (1998) navodi kako se pri sječi, izradbi i privlačenju drva u prorednim sastojinama primjenjuje velik broj različitih metoda rada, a često se događa da se u istim ili sličnim uvjetima primjenjuju različite metode rada, rabe različita sredstva za rad i proizvode različiti drvni sortimenti. Štefančić (1989) ističe kako je pridobivanje prethodnog prihoda u pravilu složenije u tehnološkom, tehničkom i organizacijskom pogledu od pridobivanja glavnog prihoda, jer osim različitih terenskih uvjeta, različite su i sastojinske prilike, koje bitno utječu na tehnologiju i organizaciju rada u svim fazama pridobivanja. U pridobivanju oblog drva iz proreda primjenjuju se različite metode (sortimentna, poludeblovna, deblovna i dr.), svaka sa svojim prednostima i nedostacima, zavisno od terenskih i sastojinskih uvjeta.

Tomičić (1986) sistematizira razvojna razdoblja pridobivanja drva i definira pojam skupnoga rada. Može se zaključiti da tek primjenom skupnoga rada, uz pretpostavku prelaska na izradbu prostornoga drva u višemetarskom obliku, formira zaokružena cjelina koja i danas predstavlja idealan oblik djelomično mehaniziranog sustava pridobivanja drva privlačenjem primjenom poludeblovne metode.

U Hrvatskoj je, krajem 80-ih godina prošlog stoljeća, zajedničkim radom šumarskih stručnjaka i znanstvenika, započela konstrukcija prorjednog skidera sa ciljem zamjene adaptiranih poljoprivrednih traktora prikladnim mehaniziranim vozilom za radove pridobivanja drva. Proizvodnja domaćeg prorjednog skidera ECOTRAC V započela je u tvornici “Tomo Vinković” u Bjelovaru koja se danas naziva “Hittner” te uspješno proizvodi nekoliko modela skidera: ECOTRAC 40, 55V, 120V i 140V. Tri takva modela koriste se u hrvatskome šumarstvu: Ecotrac 55V za privlačenje drva većinom iz prorjernih sječina te Ecotrac 120V i 140V za privlačenje drva uglavnom iz oplodnih i prebornih sječina. U trgovačkom društvu “Hrvatske šume” d.o.o. Zagreb do 2011. godine drvo iz šuma privlače 122 skidera mase manje od 5 t i 176 skidera mase veće od 5 t, od kojih su 94 tipa Ecotrac 120V. Navedeni tip traktora postupno je posljednjih godina zamjenjivao različite modele LKT skidera koji su tridesetak godina bili najrasprostranjeniji, dok su svi skideri tipa Timberjack 240C, njih 45, zahvaljujući i relativno kratkomu vremenu korištenja, a u prvom redu kvaliteti izrade, kontinuirano u upotrebi već više od desetak godina (Zečić i dr. 2019).

Prednost skidera opremljenog vitlom jest u tome što vozilo ne treba doći do svakog izrađenog komada oblog drva, već ga s određene udaljenosti može privitlavati po tlu do stražnje zaštitne daske. Na taj je način omogućeno kretanje skidera isključivo po sekundarnim šumskim prometnicama, tj. traktorskim putevima i vlakama, čime je smanjeno gaženje šumskog tla i oštećivanje pomlatka i dubelih stabala. S druge strane, povećano je oštećivanje šumskog tla na površini sekundarnih šumskih prometnica uslijed velikog broja prolazaka istom trasom te gubitka proizvodne površine, ali i oštećivanje dubelih stabala vozilom ili privitlavanom oblovinom (Petreš 2006, Horvat i dr. 2007, Požega 2015). Privlačenje se odvija jednim krajem tereta odignutim od tla i preko užeta vitla ovješanim o zadnji kraj vozila, dok se drugi kraj tereta vuče po tlu. Granični tovar koji skider može privlačiti određen je dopuštenim opterećenjem zadnje osovine, kutom uzdužne stabilnosti i ostvarivanjem vučne sile preko kotača (Horvat 1990). Osim za sakupljanje drva vučnim užetom vitla i privlačenje drva, skider s vitlom koristi se i za uhrpavanje drva prednjom daskom na pomoćnom stovarištu, odnosno uklanjanje prepreka na traktorskim putevima ili vlakama (Sever 1992).



Slika 14. Ecotrac 55V i Ecotrac 120V

Upravo su nagnuti tereni glavno područje primjene skidera gdje se u većini slučajeva primjenjuju deblovna i poludeblovna metoda pridobivanja drva. Pogodan je za rad u svim uzgojnim zahvatima i metodama izradbe drva, iako valja istaknuti da uporaba skidera u sortimentnoj metodi izradbe drva nepovoljno djeluje na njegovu proizvodnost zbog djelovanja zakona obujma komada (Sabo i Poršinsky 2005). Sličnog je mišljenja i Tomašić (2012) koji navodi da se sortimentna metoda u takvim uvjetima primjenjuje kako bi se smanjilo oštećivanje preostalih dubećih stabala; osim primjene drugačije metode, od strojeva se u prvom redu zahtijevaju manja masa i dimenzije, kako bi se mogli po uskim traktorskim vlakama kretati neopterećeni ili opterećeni privlačenim drvom, a da pri tome ne ugrožavaju okolišne i sastojinske elemente. Prema Beuku i dr. (2007) godišnje se u Hrvatskoj skiderima privuče oko 60 % izrađenog drva.

Razlog primjene poludeblovne i deblovne metode težnja je da se, ponajprije tamo gdje to dopušta prostorni raspored, odnosno razmak između preostalih dubećih stabala (oplodne sječe ili kasne prorede) ili gdje se sijeku sva preostala stabla (dovršni sijekovi), nakon sječe može primijeniti način privlačenja drva veće proizvodnosti (zakon obujma komada), a da se istodobno ne naruše biološko-ekološki uvjeti gospodarenja te zdravstveno i ekološko stanje sastojine (Tomašić 2012).

4.1.2. Trenutno stanje

U recentnom razdoblju privlačenje se drva po tlu kao ključna sastavnica sustava pridobivanja drva intenzivno istražuje u Republici Hrvatskoj. Istraživanja se posebice intenziviraju nakon nabavke novih skidera tipa Timberjack 240 C (Zečić i dr. 2004, Sabo i Poršinsky 2005). Istražuje se primjerice utjecaj nagiba traktorskog puta na proizvodnost (Zečić i dr. 2010), utjecaj obujma tovara na proizvodnost (Zečić i dr. 2011a), uspoređuju se proizvodnosti skidera s jednobubanjskim i dvobubanjskim vitlom (Zečić i dr. 2011b), pa i primjena sortimentne metode (Zečić i dr. 2019). U istom se vremenu istražuju i domaći tipovi skidera Ecotrac 55V i Ecotrac120V, njihove morfološke i proizvodne značajke (Horvat i dr. 2007, Zečić i dr. 2019), ali i utrošak energije i emisije (Vusić i dr. 2013). Istražuje se i okolišna pogodnost, odnosno oštećivanje ponika i pomlatka (Petreš 2006) te preostalih dubećih stabala (Sabo 2000, Sabo 2003). Značajno je istaknuti i objave koje se bave tehničko-tehnološkim značajkama skidera; vučnim značajkama (Šušnjar i dr. 2010), raspodjelom mase tereta (Poršinski i dr. 2012), odnosom nagiba i tovara (Đuka i dr. 2016), utjecajem kamenitosti i stjenovitosti terena na privlačenje drva (Đuka i Poršinsky 2016), prohodnošću skidera (Poršinsky i dr. 2016) te udaljenošću privlačenja (Đuka i dr. 2017) i kretnošću skidera (Đuka i dr. 2018).

Sintezom informacija sadržanih u prethodno navedenim istraživanjima sustav se pridobivanja drva privlačenjem može definirati kao djelomično mehanizirani sustav u kojem se sječa i izradba drva obavlja primjenom motornih pila lančanica, a optimalna se učinkovitost privlačenja drva skiderima postiže primjenom poludeblovne metode što pak uvjetuje angažman radnika na pomoćnom stovarištu pri izradbi sortimenata. Optimalno funkcioniranje sustava postiže se primjenom skupnoga rada. Bitno je napomenuti i različitu namjenu skidera različite mase. Tako je za pridobivanje drva u prorjedama šuma nizinskog i brežuljkastog područja idealno koristiti skider mase <5 t, a skider mase >5 t u prebornim sječama, kasnim prorjedama i oplodnim sječama jednodobnih šuma. Dakle, pri korištenju skidera nastoji se prilagoditi veličinu stroja vrsti sječe na način da se skideri mase veće od 5 tona koriste u oplodnim sječama, a skideri manje mase od 5 tona u proredama. Zbog sezonskog karaktera sječe u regularnim šumama, a sa ciljem povećanja godišnjeg iskorištenja strojeva i jedni i drugi često rade u eksploatacijskim uvjetima za koje konstrukcijski nisu namjenjeni (Vusić 2013). Dimenzije stabala mogu predstavljati ograničenje u slučaju primjene skidera mase <5 t izvan optimalnog područja njegove primjene, npr. u oplodnim sječama. Sječna gustoća nije ograničavajući čimbenik, dok se skider koristi u optimalnom području primjene, ali čak ni kod primjene u slučajnom priходу. No, nužno je masu i obujam tovara uskladiti s tehničkim mogućnostima i

specifikacijama skidera kako bi se radovi izvodili na siguran način. U slučaju kada dimenzije pojedinih stabala, tj. poludebala rezultiraju masom tovara koja nadilazi vučnu silu skidera (najčešće kod skidera mase <5 t), metoda pridobivanja drva modificira se u smjeru sortimentne metode i izradbe drvnih sortimenata u sječini. Primjenom skidera mase >5 t omogućeno je privlačenje poludebala velikih dimenzija (mase) uslijed veće vučne sile vozila (u odnosu na skider mase <5 t); na taj se način ostvaruje optimalan tovar s malim brojem komada čime je sustav izrazito prikladan za pridobivanje drva u sastojinama s debljim stablima. Kod primjene pak skidera mase >5 t na šumskim radilištima s nižim sječnim gustoćama (i tanjim stablima), dolazi do smanjenja produktivnosti. Primjena sustava pridobivanja drva privlačenjem postavlja stanovite dodatne zahtjeve u pogledu pomoćnog stovarišta s obzirom da se i na pomoćnom stovarištu odvija značajan dio proizvodnog procesa. Stoga pomoćno stovarište mora biti prostrano kako bi se omogućilo razvrstavanje drvnih sortimenata po vrstama drva i klasama kakvoće te uhrpavanje koje je zahtjevnije negoli je to slučaj primjerice kod izrade složajeva forvarderom.

Primjenjivost sustava pridobivanja drva privlačenjem limitirana je kretnošću skidera po šumskom bespuću, no tek na uzdužnim nagibima terena preko ± 33 % uz osrednju osjetljivost na bočni nagib terena. S obzirom na moguću kretnost skidera, šumske terene brežuljkastog područja, uzdužnog nagiba <20 %, potrebno je sekundarno otvarati mrežom negrađenih traktorskih vlaka međusobnog razmaka do dvostruke duljine vučnoga užeta vitla skidera, a neprometne terene za šumska vozila, uslijed djelovanja nagiba, ali i kamenitosti/stjenovitosti terena brdskog/gorskog područja, potrebno je sekundarno otvarati mrežom građenih traktorskih putova uzdužnoga nagiba <20 (25) %. Pri tome je prostorni raspored sekundarnih šumskih prometnica prvenstveno određen konfiguracijom terena te položajem primarne šumske prometne infrastrukture i vodenih tokova u prostoru, kao i dosegom vučnoga užeta vitla za sakupljanje drva (Pičman 2007).

Općeprihvaćeno područje rada skidera tereni su nagiba $<\pm 30$ % sa srednjom udaljenosti privlačenja drva <400 m (MacDonald 1999, Kühmaier i Stampfer 2010). Zbog snažnog utjecaja udaljenosti privlačenja drva na djelotvornost privlačenja drva skiderima mase <5 t (uslijed relativno malog tovara) optimalna srednja udaljenost privlačenja iznosi do 150 m, dok kod skidera mase >5 t ona iznosi do 250 m (uslijed mogućnosti ostvarivanja relativno velikog tovara). Kod većih udaljenosti privlačenja drva smanjuje se učinak i povećavaju troškovi rada (Pičman 2007).

Vrlo je česta organizacija rada s dva radnika na jednom vozilu; jedan je vozač traktorist koji upravlja vozilom i šumskim vitlom, a drugi je radnik kopčać koji izvlači uže vitla te veže drvene sortimente u tovar. Pri skupnom radu ulogu kopčaća preuzima radnik sjekač koji priprema optimalnu količinu drva za svaki tovar te pomaže traktoristu pri vezanju tovara (Gužvinec i dr. 2012).

Na proizvodnost skidera značajno utječu: tehničko – tehnološke značajke vozila, udaljenost privlačenja 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 i dr. (Šušnjar 2005).

Pri korištenju skidera za privlačenje drva u uvjetima ograničene nosivosti tla često dolazi do oštećivanja tla, kao i preostalih dubećih stabala i pomlatka. Sa ciljem smanjenja i sprečavanja štetnih posljedica mehaniziranosti radova, Martinić (2000) predlaže sljedeće mjere: pravilan odabir strojeva, ograničeno kretanje strojeva po šumskim prometnicama, usmjereno obaranje stabala, odgoda izvođenja radova tijekom nepovoljnih vremenskih uvjeta, mehanička zaštita stabala uz traktorske vlake, dodatna izobrazba i obuka i dr.

Stablovna metoda pridobivanja drva često se koristi kod izvođenja čistih sječa; stoga nije karakteristična za hrvatsko šumarstvo, ali kao dio potpuno mehaniziranog sustava pridobivanja drva ima učinkovitu i čestu primjenu u šumarstvu zemalja s područja Sjeverne Amerike te u Australiji.

Navedeni sustav obuhvaća nekoliko radnih faza i sredstava rada, a pravilu su to feller buncher, skider (najčešće s klještima, tzv. grapple skidder), procesor na stovarištu i sredstvo za utovar (Pulkki 1997).



Slika 15. Mehanizirani sustav pridobivanja drva privlačenjem

Stabla se obaraju feller buncherom koji prilazi svakom stablu pri sječi; konstrukcija zahvatne glave omogućuje mu, osim same sječe, i sakupljanje oborenih stabala i njihovo uhrpavanje ili razmještanje po šumskoj sječini, što olakšava rad skideru pri privlačenju drva do stovarišta.

Stovarišta predstavljaju središnju točku mehaniziranog sustava pridobivanja drva stablovnom metodom; na njima se vrši kresanje grana (izradba debala) te trupljenje (izradba trupaca) ili izradba celuloznog drva, ovisno o zahtjevima pilana, tj. krajnjeg korisnika. Zbog primijenjenih sredstava rada, nužno je da su stovarišta dovoljno velike površine.

Sustav je prikladan za površinom velike šumske sječine (Klase i Steele 2011 navode vrijednosti od minimalno 80 ha) na kojima se u pravilu izvode čiste sječe i njihove inačice, npr. čista sječa na pruge ili plohe i sl. (Jaako Pöyry Consulting, Inc. 1992).

Pulkki (1997) navodi da je prosječna srednja udaljenost privlačenja za učinkovitu primjenu stablovne metode oko 300 m, no isti autor navodi da ona može biti i veća, posebno kod čistih sječa gdje vrijednost gustoće šumskih prometnica iznosi i do 30 m/ha.

Ograničavajući faktor primjene sustava jesu dimenzije stabala, odnosno tehničke mogućnosti zahvatne glave feller bunchera o čijem radu ovisi produktivnost cijelog sustava. Prema Pullkiju (1997), prosječna godišnja produktivnost kod rada feller bunchera u dvije smjene iznosi oko 90 000 m³ ili 180 000 m³ za cijelu radnu jedinicu.

Glavni nedostaci ove metode jesu visoki početni i operativni troškovi, prostrana stovarišta, značajno gaženje i sabijanje tla šumskom mehanizacijom, potreba za velikom količinom drvnog materijala kako bi sustav imao učinkovitu primjenu te provođenje čistih sječa koje imaju iznimno negativan utjecaj na šumsko tlo, estetiku krajolika i dr. (Klase i Steele 2011, Jaako Pöyry Consulting, Inc. 1992, Pulkki 1997).

4.1.3. Očekivani smjer razvoja

Razvojem hibridnog pogona u autoindustriji i njegovom ugradnjom u cestovna vozila omogućeno je smanjenje potrošnje goriva i emisije stakleničkih plinova. Iz istih razloga, posljednjih se godina javlja trend uvođenja hibridnog pogona u šumska vozila.

Hibridnim vozilom nazivamo svako vozilo koje za svoj pogon koristi više od jednog izvora snage. Uobičajeno je da takvo vozilo u svojoj pogonskoj strukturi sadrži minimalno dva motora, od kojih je jedan motor sa unutarnjim izgaranjem, a drugi elektromotor ili hidraulički motor (Prekrat 2019).

Jedna od mogućnosti poboljšanja pogonskog sustava skidera Ecotrac 120V predstavlja zamjena dosadašnje mehaničke transmisije hidrostatskom. Glavni nedostaci mehaničke transmisije skokovita su promjena prijenosnog omjera, relativno malen omjer snage po jedinici mase, slaba fleksibilnost i nemogućnost regulacije što direktno utječe na proklizavanje kotača skidera te sabijanje šumskog tla (Gregov 2012).

Primjena hidrostatske transmisije omogućuje postizanje velikih snaga i momenata s uređajima malih dimenzija. Ostvaruju se najbolji prijenosni omjeri između pogonskog motora i kotača što povećava dinamičke performanse i smanjuje potrošnju goriva. 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) (Gregov 2012).

Prednost hidrostatske transmisije jest manje proklizavanje kotača skidera prilikom privlačenja drva uz nagib. Jedan od razloga je učinkovitiji prijenos zakretnog momenta na kotače. Prilikom privlačenja drva niz nagib mehanička transmisija ostvaruje manje klizanje kotača u odnosu na hidrostatsku transmisiju, a razlog su tome veća unutarnja trenja kod mehaničke transmisije koja omogućuju zadržavanje skidera pri kretanju niz nagib (Prekrat 2019).

S obzirom da skider tijekom radnog ciklusa nije konstantno opterećen maksimalnim opterećenjem, trenutna pogonska konfiguracija (motor s unutarnjim izgaranjem) može se unaprijediti uvođenjem hibridnog pogona, odnosno elektromotora. U tom slučaju odabire se

motor s unutarnjim izgaranjem manje snage, ujedno i manje potrošnje goriva, koji će omogućiti pokrivanje srednjih vrijednosti opterećenja, a vršne vrijednosti pokriva elektromotor. Ovakvim odabirom hibridnog pogona dobiva se bolja učinkovitost uz smanjenje potrošnje goriva i emisije štetnih plinova. Kako se motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor nalaze na istome mjestu, nije potrebno vršiti opsežne promjene u pogonskom sustavu koji odvodi snagu na kotače. Eventualan problem može predstavljati smještaj baterije koja ima veliku masu, budući da se 2/3 mase skidera nalazi na prednjem dijelu vozila (Prekrat 2019).

Na temelju analize dostupnih podataka može se zaključiti da je primjena sustava privlačenja drva po tlu odigrala značajnu ulogu u omogućavanju tehnološkog skoka pridobivanja drva u šumarstvu Republike Hrvatske, ali i da je već dosegla svoj zenit. Iako nova tehničko-tehnološka rješenja ukazuju na daljnju mogućnost racionalizacije radova pridobivanja drva primjenom sustava privlačenja drva po tlu nemogućnost primjene navedenog sustava na razini potpune mehaniziranosti (strojna sječa, privlačenje stablovnim metodom, mehanizirana izrada na pomoćnom stovarištu) u našim uvjetima, ne obećava napredak koji otvara primjena ostalih analiziranih sustava. No, unatoč navedenom može se očekivati zadržavanje primjene sustava u svim terenskim i sastojinskim uvjetima u kojima je primjena ostalih sustava ograničena ili onemogućena, a što će i dalje činiti značajan udio u našem šumarstvu. Osim toga primjena navedenog sustava najlogičniji je izbor i u slučaju pridobivanja drva vlastitim kapacitetima na manjim šumoposjedima.

4.2. SUSTAVI PRIDOBIVANJA DRVA IZVOŽENJEM

Primarni transport drva izvoženjem obavlja se sredstvima rada koja osiguravanju transport drva iz šumske sječine bez njegovog dodira s tlom. Spomenuta radna sredstva uvjetuju primjenu sortimentne metode pridobivanja drva zbog ograničenja tovarnog prostora, ali istovremeno omogućuju izvoženje tovara većeg obujma u jednom turnusu, u odnosu na uobičajena radna sredstva za privlačenje drva u Republici Hrvatskoj.

Sortimentna metoda karakteristična je i za potpuno mehanizirane sustave pridobivanja drva skupnim radnom harvesterima i forvarderima, dok se u hrvatskom šumarstvu češće primjenjuje u djelomično mehaniziranim sustavima u kojima se primarni transport obavlja traktorskim ekipažama ili forvarderima.

4.2.1. Povijesni pregled

Traktorska ekipaža predstavlja razvojni korak mehaniziranog primarnog transporta drva za koju je karakteristično izvoženje drva na kotačima. Čine ju traktor opremljen vitlom i dizalicom za utovar i istovar drva te prikolicom s tovarnim prostorom za drvo (Tomašić 2012). Pojedini komadi izrađenog drva koji nisu u doseg dizalice, vitlom se privuku u njezin doseg te zatim utovaruju na (polu)prikolicu i izvoze iz sječine. Traktorska se ekipaža primjenjuje u prorjedama nizinskih i brežuljkastih šuma, gdje se zbog zaštite šumskog tla, pomlatka i preostalih dubećih stabala, prikupljanje posječenog drva vrši isključivo sa šumskih prosjeka, bez ulaženja u sastojinu (Šušnjar i dr. 2009).

Primjena traktorskih skupova pri izvoženju drva iz proreda nizinskih šuma započela je početkom 70-ih godina prošloga stoljeća, a odigrala je posebno značajnu ulogu u eksploataciji prorednih lužnjakovih šuma (Birt 2015). Konstruirana je i oblikovana po uzoru na švedske “Rottne” ekipaže uvezene 1967. godine (Krstić 1999).

Prva ekipaža domaće proizvodnje “Pionir” bila je opremljena mehaničkom dizalicom i mehanički pogonjenim vitlom (Šušnjar i dr. 2009). Zbog ekoloških je zahtjeva bilo predviđeno da se trupci privitlavaju iz sastojine do jedne od usporednih vlaka koje su bile na udaljenosti od 75 m, ali je zbog tehničkih razloga “Pionir” ekipaže takav rad bio teško izvediv pa je ona ulazila u sastojinu praktično do panja (Požega 2015).

Druga traktorska ekipaža, nazvana “Formet”, doživjela je stanovita poboljšanja: uvedeno je dvobubanjsko vitlo, a mehaničke dizalice zamijenjene su hidrauličnim dizalicama čime je omogućeno dizanje težih drvnih sortimenata te ergonomski povoljnije hidraulično, a poslije i elektrohidraulično upravljanje (Birt 2015).

Dodatnim opremanjem traktorskih ekipaža dvobubanjskim vitlom osigurano je kretanje traktorske ekipaže isključivo po usporednim vlakama međusobne udaljenosti od 37,5 m na koje se privitlavaju drveni sortimenti te utovaruju dizalicama. Navedenim se postupkom smanjuje mogućnost oštećenja šumskoga tla, pomlatka i preostalih stabala pri pridobivanju drva u proredama, poglavito u razdoblju velike vlažnosti tla, odnosno njegove slabe nosivosti (Birt 2015).



Slika 16. Traktorska ekipaža

Konstrukcijom “Formet“ ekipaže konačno je postignuto kretanje traktorske ekipaže isključivo po izvoznim pravcima, tj. vlakama, bez ulaženja u sastojinu: drvo izvan dosega dizalice, privitlava se pomoću dvobubanjskog vitla. Bez obzira na svoje nedostatke i mane, traktorska ekipaža “Formet“ i danas je u upotrebi, prvenstveno zbog iznimno jednostavne konstrukcije, a samim time i niske nabavne cijene te niskih cijena rada i održavanja (Beuk i dr. 2007).

Tijekom cijelog perioda primjene traktorskih ekipaža, korišteni su različiti tipovi poljoprivrednih traktora, poluprikolica i hidrauličnih dizalica. Šušnjar i dr. (2009) navode samo neke od njih, a Horvat i dr. (2004) iznose generalne preporuke osnovnih tehničkih karakteristika traktorske ekipaže: traktor snage 60 kW, nosivost poluprikolice od 6 t, hidraulična dizalica netto podiznog momenta $>40 \text{ kNm}$, ukupna duljina skupa max. 9 m, dvobubanjско vitlo vučne sile $>50 \text{ kN}$, primjena zglobne rude i dr.

Međutim, Šušnjar i dr. (2009), sa stajališta oštećivanja dubećih stabala i tla, propitkuju primjenu tehnike privitlavanja izrađenih sortimenata na udaljenosti od panja do točke dosega hidraulične dizalice. Znatian dio posječenih stabala, odnosno izrađenih sortimenata nije u dosegu dizalice pa ih je potrebno privitlati do njezina dohvata. Wästerlund (1994) naglašava da privitlavanje unutar sastojine u kojoj se provode prorede može uzrokovati iznimno velike štete na preostalim dubećim stablima u sastojini.

Horvat i dr. (2005) utvrdili su veće otpore pri privitlavanju trupaca s debljim krajem, a štetan učinak na tlo pojačava i pluzno djelovanje prednjega kraja trupca. Navedene štete moguće je smanjiti usmjerenim obaranjem čime bi drvni sortimenti već pri izradbi bili usmjereni tanjim krajem prema traktorskoj vlaci, a smanjila bi se i udaljenost privitlavanja.

Usmjereno obaranje stabala ima prednost u ekološkom smislu zbog manjeg oštećivanja šumskoga tla te u gospodarskom smislu zbog veće proizvodnosti traktorske ekipaže na manjim udaljenostima privitlavanja. S druge strane, kretanjem traktorske ekipaže isključivo po izvoznim pravcima smanjuje se mogućnost oštećenja šumskoga tla (zbijanje tla, nastanak kolotraga) prolaskom natovarenoga vozila, pogotovo u uvjetima njegove slabe nosivosti (Šušnjar i dr. 2009).



Slika 17. Forvarder

Forvarderi predstavljaju tehnološki iskorak u odnosu na traktorsku ekipažu. Oni su specijalna, zglobno upravljana, šumska vozila, namijenjena prikupljanju i izvoženju drva po traktorskim putevima i vlakama te šumskom bespuću, a za koje je karakteristično izvoženje oblovine na kotačima, tj. čitav je teret odignut od tla. U pravilu se koriste kao dio sustava pridobivanja drva sortimentnom metodom, često u kombinaciji s harvesterima, a kod nas su uobičajeno sredstvo rada u kasnim prorjedama i dovršnim sjekovima u nizinskim šumama, ali u djelomično mehaniziranim sustavima pridobivanja drva gdje se sječa i izrada obavljaju motornim pilama

lančanicama. Upravo iz razloga što se oblovina izvozi na kotačima, forvarderi se smatraju okolišno pogodnijim strojevima s obzirom na utjecaja na tlo u usporedbi sa skiderima.

Forvarderi su nastali povezivanjem traktora i poluprikolice; sastojali su se od dva dijela (okvira) međusobno povezanih zglobovima. Prvi forvarderi imali su četiri kotača, po dva na svakom okviru gdje su svi kotači bili pogonski. Kasnije se stražnji most zamjenjuje bogi ovjesom, a nakon njega i prednji. Krajem 70-ih pa sve do polovice 80-ih godina forvarderi su sve više usavršavani jer se u njih, umjesto dotadašnje hidrodinamičko-mehaničke transmisije, ugrađuje računalno upravljana hidrostatsko-mehanička transmisija. Kabine na strojevima s vremenom su bile sve više ergonomski povoljne. Razvojem računala i računalne tehnologije 90-ih godina mehanički su se sustavi preko hidrauličnih sastavnica prilagođavali upravljanju pomoću ručica na upravljačkom sjedalu čime su se još više poboljšale ergonomske značajke cijeloga stroja (Pandur 2009). Današnji se forvarderi u suštini ne razlikuju od onih od prije pola stoljeća, ali što se tiče okolišne pogodnosti, humanizacije rada i automatike, uvelike su napredovali i s punim se pravom mogu nazvati vrhunskom tehnologijom u šumarstvu.

Prednji, upravljačko-pogonski dio vozila i pogonjena poluprikolica spojeni su s dva zgloba (uzdužni i poprečni), s mogućnošću gibanja u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini. Upravljanje forvardera odvija se preko uzdužnog zgloba, promjenom kuta prednjeg i stražnjeg dijela vozila u horizontalnoj ravnini, što najčešće omogućuju dva hidraulična cilindra (Poršinsky 2005). Osim upravljanja forvarderom, zglobna veza omogućuje savladavanje terenskih prepreka na način da je omogućeno njihanje prednjeg i stražnjeg dijela vozila (poluprikolice). Prilikom utovara ili istovara drva dizalicom poprečni je zglob blokiran. Za prijenos snage pogonskog motora forvardera najčešće se koristi mehanička, hidrostatsko-mehanička ili hidrostatska transmisija (Stankić 2010).

Hidrauličkom dizalicom s rotatorom i hvatalom ugrađenom na poluprikolicu forvardera vrši se utovar i istovar izrađenih drvnih sortimenata. Doseg hidrauličkih dizalica kreće se u opsegu od 5 do 10, najviše 15 m, uz nazivni podizni moment između 50 i 100 kNm. Upravljanje dizalicom vrši se iz kabine forvardera pomoću upravljačkih ručica (Barešić 2016).

Prvi forvarderi u Hrvatskoj primjenjuju se od 1971. godine, i to dva tipa Kockums 836B (Slabak 1983). Od trenutka primjene, hrvatski šumarski stručnjaci provode razna istraživanja kako bi primjena forvardera postigla optimalnu učinkovitost u načinu gospodarenja šumama u Republici Hrvatskoj. Tako se Slabak (1978) na izvještaj sa sajma šumske opreme u Švedskoj nadovezuje mogućnostima primjene izloženih tehnologija u hrvatskome šumarstvu. Nešto

kasnije, isti autor (1983) govori o forvarderima u Hrvatskoj i svijetu, a Bojanin (1986) opisuje stanje i razvoj iskorištavanja šuma u Hrvatskoj pri čemu je zanimljivo da su se, paralelno s forvarderima, još uvijek koristile i samarice. Martinić (1987) istražuje optimalne odnose dimenzija, funkcionalnosti i ekonomičnosti strojeva u odnosu na predmete i uvjeta rada, uz određivanje indeksa oblika, a sve u cilju izbora optimalnog sredstva rada u konkretnim operativnim uvjetima. Krpan i dr. (1993) istražuju fizičke štete na tlu prilikom rada šumske mehanizacije, pa tako i forvardera; istraživanja vezana za oštećivanje šumskog tla ostala su do danas jedna od najvažnijih istraživanja u šumarstvu. Bojanin i Krpan (1994) promatraju utroške vremena utovara i istovara, a posebno naglašavaju ovisnost vremena utovara i istovara o volumenu komada. Zaključuju da utrošak vremena po m³ kod izvoženja forvarderom ovisi o stanju tla, vrsti drva i obujmu komada. Krpan (1996) uspoređuje rad traktora, forvardera i šumske žičare u radovima pridobivanja drva u nizinskim šumama, pri čemu naglašava najmanji pad učinka s povećanjem udaljenosti privlačenja kod forvardera (u odnosu na preostala dva sredstva rada). Sever i Beljo-Lučić (1996) razmatraju probleme forvarderskih dizalica te vrše ergonomske ocjene dviju generacija forvardera. Bojanin i Krpan (1997) analiziraju radni učinak forvardera u privlačenju drva u bjelogoričnim nizinskim šumama kod dovršne i oplodne sječe. Poršinsky (1997) vrši morfološku raščlambu forvardera Kockums 850 i Timberjack 1210.

Forvarder se po šumskoj sječini kreće po izvoznim pravcima koji višekratnim prolascima vozila poprimaju izgled traktorskih vlaka. U dovršnim sječama forvarder se pri utovaru drva često slobodno kreće po šumskoj sječini uglavnom zbog loše organizacije rada te pogrešnog stava da on svojim jednokratnim prolaskom ne oštećuje šumsko tlo i pomladak drveća (Pandur 2013).

Uslijed mogućnosti razvrstavanja oblovine po vrstama drva i klasama kakvoće prilikom njenog istovara, ona se slaže u visoke složajeve s obje strane šumske prometnice (visina složajeva doseže 3 do 4 m) čime se smanjuje potreba za stovarištem velike površine; čela izrađenih sortimenata s identifikacijskim pločicama okrenuta su prema šumskoj prometnici (Cvitkvić 2015). Duljina izrađene oblovine prilagođena je duljini utovarnog prostora poluprikolice, a obično se kreće između 4 i 6 m. Bojanin i Krpan (1997) navode duljine sortimenata od 4 do 5 m. Forvarderi dolaze u različitim veličinama i razvrstavaju se po nosivosti koja obično varira od 6 do 25 tona (South African Ground Based Harvesting Handbook).

Poršinsky (2005) navodi kako se forvarderi u Hrvatskoj prvenstveno koriste za izvoženje drva glavnog prihoda (tijekom razdoblja zimske sječe), za vrijeme razdoblja ljetne sječe koriste se za izvoženje drva prethodnog prihoda (prorjede) te prilikom čistih sječa topola, sječa jasena na pruge te sanitarnih sječa.

Proizvodnost forvardera ovisi o međudjelovanju niza utjecajnih čimbenika kao što su udaljenost izvoženja drva, vrste drva i dimenzije izrađene oblovine, sječna gustoća, nagib terena, površinske prepreke, uvjeti nosivosti podloge, otvorenost sječine mrežom sekundarnih šumskih prometnica, potrebe za razvrstavanjem sortimenata na pomoćnome stovarištu, vještina rukovatelja te same tehničko-tehnološke značajke vozila i dizalice (Poršinsky 2005). Kao glavni nedostaci forvardera ističu se nesrazmjer vremena potrebnog za utovar i istovar s vremenom vožnje na kraćim udaljenostima izvoženja, relativno visoka cijena te bočna nestabilnost pri vožnji kod punog utovarnog prostora zbog visoke točke težišta (South African Ground Based Harvesting Handbook 2010).

Autori iz drugih zemalja, poput Južnoafričke Republike (South African Ground Based Harvesting Handbook 2010) kao indekse proizvodnosti navode udaljenost privlačenja, tj. izvoženja, obujam izvoženog tovara i operativnu primjenu – prorede, oplodne sječe ili čiste sječe. Prema istim autorima, glavne su prednosti forvardera relativno velik obujam drva koji se može izvoziti u jednom turnusu, gaženje i sabijanje tla ograničeno na forvarderske vlake, manje oštećivanje dubućih stabala u odnosu na skidere, visok ergonometrijski standard te visoko produktivan rad u kombinaciji s harvesterom.

Kod forvardera s više od četiri kotača upotrebljava se bogi most, kod kojega su po dva kotača smještena jedan blizu drugoga, u tzv. tandem rasporedu. Primjena bogi mosta povećava bočnu stabilnost forvardera zbog smanjenog naginjanja utovarenog dijela vozila, jer kotači povezani bogi mostom dobro slijede površinske neravnine ublažavajući visinske razlike trena (Stankić 2010).

U uvjetima smanjene nosivosti tla na prednje kotače šesterokotačnih forvardera najčešće se montiraju lanci, a na stražnje polugusjenice. Upotreba polugusjenica na tlima ograničene nosivosti utječe na povećanje kretnosti i proizvodnosti (Poršinsky i dr. 2011), utječe na smanjenje proklizavanja kotača, a time i na smanjenu potrošnju goriva te povećanu stabilnost prilikom kretanja forvardera, odnosno utovara i istovara drva, ali dovodi do većeg oštećenja pomlatka (Pandur 2013).

Pri konstruiranju i proizvodnji modernih šumskih strojeva, velika se pozornost posvećuje ergonomiji cijelog stroja, a posebno kabine, kako bi operator što lakše i sigurnije rukovao strojem pri radu. Sever (1988) navodi najznačajnije ergonometrijske elemente: razina buke i vibracije pri radu, položaj operatera pri radu, upravljačko sjedalo i dostupnost upravljačkih uređaja, preglednost mjerne opreme, klimatski uvjeti u kabini, vidljivost iz kabine, osvjetljenje

radnog okoliša, uvjeti penjanja i silaženja iz kabine, količina ispušnih plinova i prašine u kabini, radovi na održavanju i dr.

Forvarder se često koristi u kombinaciji s harvesterom, kao dio potpuno mehaniziranog sustava pridobivanja drva, pri čemu se primjenjuje sortimentna metoda. Harvester izvodi sječu stabala, kresanje grana, trupljenje debala, mjerenje sortimenata i njihovo slaganje u hrpe koje forvarder zatim utovaruje i izvozi do pomoćnog stovarišta (Krpan i Poršinsky 2002).

Drushka i Konttunen (1997) definiraju harvester kao specijalno, zglobno upravljano, šumsko vozilo čija je osnovna namjena obaranje stabala i izradba kratkog drva pokraj panja. U početku su se proizvodili kao višezahvatni strojevi, dok se danas proizvode isključivo kao jednozahvatni.

Pri sječi stabala harvesterom, provodi se kontrolirano obaranje stabla što dovodi do smanjivanja oštećivanja preostalih stabala u sastojini u odnosu na ručno-strojnu sječu i izradbu (Poršinsky i dr. 2004). U prorjednim sječama, harvester sam formira prometnu infrastrukturu prosijecajući si vlake, a sa čije površine zatim vrši sječu preostalih doznačenih stabala.



Slika 17. Harvester

Uobičajeni međusobni razmak između vlaka je 20 m, pri kojem harvesteri, čiji je dohvat hidraulične ruke 10 m, mogu dosegnuti i srušiti sva stabla. Kod ovakvog načina rada, harvester okresane grane odlaže pred kotače vozila čime poboljšava uvjete nosivosti podloge, odnosno smanjuje oštećenje tla na vlakama. Ukoliko je razmak vlaka veći, tada se rad harvestera

kombinira s ručno-strojnomo sječom ili se pri radu harvester kreće po površini između vlaka (Krpan i Poršinsky 2004).

Kod harvestera s više od četiri kotača, na prednju osovinu ugrađuje se bogi most, kod kojega su po dva kotača smještena jedan blizu drugoga, u tzv. tandem rasporedu. Primjena bogi osovine omogućava amortiziranje vozila pri kretanju po površinskim preprekama šumskog bespuća, ali i njegovu povećanu stabilnost prilikom obaranja stabla (Krpan i Poršinsky 2001).

Računalni sustav harvestera kontrolira rad sječne glave, mjerenje stabla, donošenje odluke o mjestu trupljenja u svrhu najveće iskoristivosti debla, odnosno odluke o izradbi sortimenata zadanih dimenzija prema zahtjevima kupaca (Krpan 2000).

Glavni je nedostatak harvestera njegova složenost zbog koje vozači moraju biti vrhunski obučeni. Obuka vozača je skupa i može trajati do dvije godine, dok vozač u cijelosti ne ovlada rukovanjem strojem. Ipak, kroz nekoliko mjeseci većina vozača stječe zadovoljavajuća znanja i vještine (Hoss 2001).

Harvesteri su ponajprije predviđeni za uporabu u šumama četinjača (Bojanin i Krpan 1997). Prema Krpanu i Poršinskom (2002) harvester se u Hrvatskoj može primjenjivati u prorjedama, kulturama četinjača te bjelogoričnih plantaža (meke listače) na blagim nagibima i na tlu s dobrim mehaničkim značajkama. Forbrig i Encke (1996) smatraju da se harvester može uspješno primjenjivati u bukovim sastojinama za sječu stabala prsnog promjera do 24 cm.

Na učinak harvestera značajno, ali ne i isključivo, djeluje sječna gustoća tj. broj doznačenih stabala po jedinici površine. Osim sječne gustoće, na njegov učinak i troškove snažno djeluje zakon obujma komada jer se njegov učinak s porastom prsnog promjera sječnog stabla, odnosno obujma stabla, povećava uz istodobno smanjivanje troškova rada (Krpan i Poršinsky 2001), naravno do graničnog prsnog promjera stabla s obzirom na mogućnosti sječne glave.

Krpan i Poršinsky (2004) navode kako na proizvodnost harvestera uglavnom utječu uvjeti i metode rada, uvježbanost operatera, konačni proizvod, dok sječna gustoća u slučaju čiste sječe pogoduje djelotvornosti harvestera, za razliku od prorjeda kod kojih je sječna gustoća znatno manja. Kao prilog tome, istražujući djelotvornost strojne sječe i izrade u čistoj sječi kulture vrbe, navode kako je harvester ostvario učinak od 17,5 m³/h. Prsni promjer srednjeg sječnog stabla iznosio je 25 cm, dok je sječna gustoća iznosila 633 stabla po hektaru.

Najveći promjer koji sječna glava može obuhvatiti (70 cm) ograničava uporabu harvesteru pri obaranju stabala većih dimenzija (Bručić 1997), dok građa stabala listača te reljefne prilike djeluju na smanjenje učinkovitosti (Krpan 2000).

Brojni autori u svojim radovima (Krpan i Poršinsky 2001, Krpan i Poršinsky 2002, Poršinsky i dr. 2004, Vusić i Rukavina 2010, Tomašić 2012, Štimac 2017 i dr.) ističu glavne probleme primjene harvesteru pri sječi i izradbi. Svi autori slažu se da su karakteristike listopadnih vrsta drveća glavni čimbenik koji ograničava primjenu harvesteru; bjelogorične vrste, naime, u vrijeme oplodnih sječa postižu poprilične dimenzije, a posebno je to izraženo kod hrasta i bukve, koji su ujedno i najvažnije komercijalne vrste drveća u hrvatskom šumarstvu (Tomašić 2012). Dodatne probleme u vidu bioloških svojstava bjelogoričnih vrsta drveća ističe i Krpan (2000), prvenstveno njihovu rašljivost i granatost, pojavu jakih i krupnih grana od rane dobi, nepravilno i izraženo žilište debla, itd. Probleme vezane uz rašljivost stabala i njihov utjecaj na proizvodnost harvesteru jednim istraživanjem potvrđuju Vusić i Rukavina (2010). Tomašić (2012) posebno ističe način komercijalnog oblikovanja drvnih proizvoda (izradba drvnih sortimenata prema razredima kakvoće – buck-to-quality) te propisan način njihovog mjerenja i otpreme kupcima.

Tomašić (2012) kao probleme primjene harvesteru kod prebornog načina gospodarenja ističe, osim nagiba terena (jer se preborne šume gotovo isključivo prostiru na strmim terenima), stabla (pre)velikih dimenzija budući da se u prebornom načinu gospodarenju sijeku najdeblja i najjača stabla. Još jedan nepovoljan čimbenik jest i često malen razmak između stabala među kojima se harvester kreće.

Ipak, mehanizirana sječa i izradba pomoću jednozahvatnih harvesteru moguća je i isplativa u hrvatskom šumarstvu, ponajprije na površinama koje zauzimaju šumske kulture crnogorice (smreka, bor) ili šumske plantaže meke bjelogorice (topole, vrbe, johe). Studija “Djelotvornost strojne sječe i izradbe u sastojinama tvrdih i mekih listača” (Krpan i Poršinsky 2002, Poršinsky i dr. 2004) detaljno opisuje provedeno istraživanje, u suradnji šumarske znanosti i operative, prilikom kojeg je organiziran pokazni rad harvesteru u kulturi četinjača, a koji je obuhvaćao snimanje i praćenje mehanizirane sječe i izradbe. Rezultati izneseni u studiji potvrdili su ranije spomenute poteškoće i ograničavajuće čimbenike rada harvesteru, tj. mehanizirane sječe i izradbe, u šumama tvrde bjelogorice.

Uz navedene ograničavajuće čimbenike primjene harvesteru u šumskim sastojinama Republike Hrvatske, a prvenstveno su to sastav biljnih vrsta i terenske prilike, važno je spomenuti i

probleme vezane za mjerenje izrađene oblovine, tj. točnost i preciznost same izmjere, pouzdanost evidencije te način obilježavanja sortimenata.

Prilikom izradbe drvnih sortimenata harvesterom, računalo koristi matematičke algoritme koji na temelju izmjerenih dimenzija sugeriraju operateru optimalna mjesta trupljenja. Mjerenje duljina provodi se pomoću uređaja smještenog na mjernom zupčaniku koji se nalazi na harvesterskoj glavi, a njegova jedina zadaća je upravo mjerenje duljina izrađenih sortimenata s točnošću na cm (Sladek i Neruda 2007).

Promjer se može mjeriti na dva načina: na temelju položaja noževa za kresanje grana ili na temelju položaja posmičnih valjka. U oba slučaja, podaci o promjeru određeni su ostvarenim kontaktom s deblom (Hohmann i dr. 2017). Noževi za kresanje grana opremljeni su senzorima pri čemu se promjer mjeri za svaki cm duljine te se određuje srednji promjer za svaku sekciju duljine 10 cm; promjer debla za svaki metar duljine određuje se na temelju 11 mjerenja (Sladek i Neruda 2007). Izmjera promjera vrši se s točnošću na mm.

Hohmann i dr. (2017) u svom istraživanju uspoređuju točnost ručnog mjerenja i mjerenja harvesterom, pri čemu su koristili tehniku uranjanja u vodu temeljenu na Arhimedovom principu. Dobiveni rezultati pokazali su da je volumen drva izmjeren harvesterom bio u prosjeku manji za 0,45 % od stvarnog volumena. Odstupanja su se kretala u intervalima od +2,08 % do -3,60 %. Razloge točnijih i preciznijih rezultata pri mjerenju harvesterom u odnosu na ručno mjerenje jest u tome što se harvesterom mjeri promjer na više kraćih sekcija debla, dok se ručno mjeri samo jedan promjer, na sredini debla.

Navedeni rezultati potvrđuju raniju objavu Dvořáka i dr. (2016) koja ukazuje da je točnost mjerenja harvesterom u prosjeku 4,7 % veća nego kod ručnog mjerenja. Također, još jedan od razloga za točniju izmjeru harvesterom jest i mjerenje promjera u milimetrima, dok se ručnim načinom promjer mjeri u centimetrima i zaokružuje na nižu vrijednost. Važno je naglasiti da su u oba navedena slučaja ispitivane samo metode mjerenja s korom, odnosno nije proveden odbitak kore na temelju čega se može zaključiti da se izmjerom promjera na više sekcija na deblu bolje prati geometrija samog debla, a rezultat navedenog jest točniji izračun obujma.

U cilju postizanja preciznih rezultata izmjere obujma drva harvesterom, nužna je redovita kalibracija mjernih uređaja harvestera prema propisanim specifikacijama. Kalibracija se obavlja na način da se nakon izrađenih 7 do 8 drvnih sortimenata iz računala harvestera pribave podaci o dimenzijama predmetnih sortimenata nakon čega se pristupa ručnoj izmjeri te se obavlja usporedba. Za ručnu izmjeru procedura je propisana od strane proizvođača harvestera.

Svaki sortiment se, počevši od debljeg kraja, podijeli na sekcije duljine 1 m i na polovici svake sekcije mjere se dva unakrsna promjera (na 0,5 m, 1,5 m, itd.). Na posljednjoj sekciji svakog sortimenta, ako je sekcija kraća od 1 m, promjeri se mjere na sredini stvarne duljine. Ako se na mjestu gdje se mjeri promjer nalaze kvрге, mjesto izmjere pomiče se kako bi izmjereni promjer bio reprezentativan.

Obujam se izračunava za svaku sekciju zasebno na temelju duljine i srednje vrijednosti izmjerenih dvaju promjera; zbrojem obujama svih sekcija jednog drvnog sortimenta dobiva se stvarni obujam drvnog sortimenta. Navedenim načinom izmjere nastoji se oponašati mjerenje harvesterom koji obujam pojedinog drvnog sortimenta izračunava na temelju obujama više manjih sekcija. Nakon ručne izmjere u računalu harvestera upisuju se ručno izmjerene duljine i izračunati obujmi svakog sortimenta kako bi se mjerni sustav kalibrirao i na temelju provedene kalibracije iskazivao što točnije podatke o obujmu izrađenog drva.

Hohmann i dr. (2017) također istražuju točnost izmjere obujma na temelju izmjere promjera debela pomoću posmičnih valjaka koji služe za pomicanje debala kroz harvestersku glavu. Dolaze do zaključka da obujam ovisi o promjeni tlaka kojim valjci pritišću deblo: povećanjem tlaka kojim valjci pritišću deblo povećava se i razlika u obujmu jer su valjci dublje utisnuti u koru i izmjereni je promjer debela manji, a sukladno tome i izmjereni je obujam manji.

4.2.2. Trenutno stanje

Traktorska se ekipaža u hrvatskome šumarstvu primjenjuje kao dio djelomično mehaniziranog sustava pridobivanja drva, sortimentnom metodom, najčešće u proredama šuma nizinskog i brežuljkastog područja te sanacijama požarišta krškog područja, gdje terenske prilike omogućuju njezinu kretnost.

Obavljanje radova pridobivanja drva navedenim sustavom temelji se na obaranju stabala i izradbi oblog drva ručno-strojnim načinom rada, tj. primjenom motornih pila lančanica, a izrađeni se sortimenti izvoze iz sječine traktorskom ekipažom, pri čemu je poželjno da se ona kreće isključivo po vlakama. Ograničavajući su čimbenik dimenzije izrađene oblovine u slučaju kada njihova masa nadilazi podizni moment hidraulične dizalice traktorske ekipaže, u obzir valja uzeti i izrazitu osjetljivost traktorske ekipaže na bočni nagib terena (Bojanin i dr. 1976).

Prednost traktorske ekipaže jest mogućnost razvrstavanja oblovine po vrstama drva i klasama kakvoće pri istovaru oblovine i slaganju u složajeve pa nema posebnih zahtjeva za prostorom

pomoćnoga stovarišta; također, ranije spomenuta okolišna pogodnost prednost je u odnosu na sredstva rada kojima se drvo privlači po tlu.

Usporedno s uvođenjem forvardera u operativu hrvatskog šumarstva, šumarski stručnjaci provode brojna istraživanja i testiranja sa ciljem postizanja optimalne učinkovitosti strojeva u radnim operacijama. Sabak (1983) piše o forvarderima u Hrvatskoj i svijetu, dok Martinić (2000) propituje ekološku prihvatljivost uporabe mehanizacije u šumarstvu. Utjecaj na okoliš od velikog je značaja pa tako valja istaknuti istraživanje djelotvornosti i okolišne pogodnosti forvardera u nizinskim šumama Poršinsky (2005) te oštećivanja dubećih stabala (Poršinsky i Ožura 2005). Bosner i dr. (2008) istražuju osovinska opterećenja na forvarderu, dok Tomašić (2012) daje pregledan opis razvoja tehnologije i tehničkih sredstava u pridobivanju drva. Nastavno na okolišnu pogodnost, Pandur i dr. (2014) te Pandur i dr. (2018) posebno se fokusiraju na analizu gaženja i sabijanja tla. S pomacima u tehnološkom razvoju, predstavljena je i dodatna oprema za povećanje proizvodnosti (Pandur i dr. 2009), a nešto kasnije i sustav za praćenje rada strojeva (Pandur 2013). Stankić (2010) govori o kriterijima planiranja izvoženja drva forvarderima u nizinskim šumama, a u novije se vrijeme istražuje mogućnost primjene forvardera u mehaniziranim sustavima pridobivanja šumske biomase za energiju (Pandur 2013, Vusić 2013).

Izrada drvne sječke na pomoćnom stovarištu primjenom iverača kao dodatnog sredstva rada postojećim sustavima pridobivanja drva u Republici Hrvatskoj najčešće podrazumijeva i prethodnu uporabu forvardera. Neizrađeno krupno drvo i šumski ostatak izvoze se forvarderom do pomoćnog stovarišta, a prije samog izvoženja nužno je motornom pilom pripremiti krošnje stabala sa ciljem optimalnog iskorištenje tovarnog prostora forvardera. Na pomoćnom se stovarištu, procesom iveranja prosušene drvne sirovine, proizvodi drvna sječka. Učinkovitost sustava ograničena je količinom neizrađenog krupnog drva i šumskog ostatka koji ostaje na površini sječine. Iveranje u pravilu nije vremenski integrirano s izvoženjem kako bi se osiguralo dovoljno vremena za prosušivanje drvne sirovine. Sustav zahtijeva prostrana pomoćna stovarišta na kojima će biti moguće organizirati iveranje direktno u poluprikolicu tegljačkog skupa. Primjenjuje se najčešće u oplodnim sječama šuma nizinskog i brežuljkastog područja te sječama šumskih kultura i plantaža.

Kao što je već ranije spomenuto, forvarderi se u Republici Hrvatskoj najčešće koriste kao dio djelomično mehaniziranog sustava pridobivanja drva sortimentnom metodom. Taj se sustav temelji na obaranju stabala i izradbi obloga drva ručno-strojnim načinom rada, tj. primjenom motornih pila lančanica kojima se vrši obaranje stabala, kresanje grana i trupljenja debala te

izvoženju izrađenih drvnih sortimenata (trupaca i višemetarskog prostornog drva) forvarderom. Sječa i izradba vremenski su i prostorno odvojene od izvoženja, s obzirom da bi usklađivanje proizvodnosti ručno-strojne sječe i izvoženja bilo izrazito zahtjevno s obzirom na sastojinske uvjete, pa ovaj sustav nije prilagodljiv skupnome radu.

Iako forvarderi s obzirom na relativno veliku korisnu nosivost mogu postići prihvatljivi trošak i pri izvoženju sa udaljenosti od 1000 m, optimalnu učinkovitost postižu na srednjim udaljenostima privlačenja od 400 m. Važan ograničavajući čimbenik rada forvardera jest uzdužni nagib terena u vrijednostima od ± 20 % (bez sidrenog užeta) te izrazita osjetljivost forvardera na bočni nagib terena zbog visoke točke težišta.

Kao i kod traktorske ekipaže, izvoženje drva forvarderom smatra se okolišno prihvatljivim načinom pridobivanja drva. Okolišna pogodnost može se postići različitim mjerama, kao što su ograničeno kretanje forvardera po sekundarnim prometnicama u cilju smanjenja površine gaženja šumskog tla i oštećenja pomlatka, izbor forvardera s opsijskim gumama širine 710 mm, opremanje stražnjih kotača udvojene (bogi) osovine polugusjenicama i prednjih kotača lancima, slaganje zastora granjevine na traktorskim vlakama, usmjereno obaranje stabala uz prihvati izrađenih drvnih sortimenata hidrauličnom dizalicom čime se osigurava smanjenje oštećenja dubećih stabala te pomlatka i dr. (Poršinsky 2005, Stankić 2010, Poršinsky i dr. 2011).

Forvarder i harvester u kombinaciji, tj. u skupnom radu, čine potpuno mehanizirani sustav pridobivanja drva sortimentnom metodom, pri čemu harvester vrši sječu i izradbu stabala, a forvarder izvoženje oblog drva. Sječa i izradba mogu biti vremenski i prostorno odvojene od izvoženja drva forvarderom, ali i integrirane, pri čemu je nužno voditi računa o usklađivanju proizvodnih mogućnosti strojeva u sustavu s obzirom na eksploatacijske uvjete. Najčešće se primjenjuje u šumskim kulturama i plantažama te prorjedama i pripremim sjekovima šuma nizinskog i brežuljkastog područja.

Skupni rad harvestera i forvardera prvenstveno je ograničen dimenzijama stabala, odnosno mogućnostima harvesterske glave (sječni promjer i promjer kresanja grana) koje uvjetuju primjenu u sječinama u kojima prevladavaju stabla promjera u pravilu ne većeg od 50 cm; u slučaju pojedinačnih debljih stabala primjena sustava moguća je uz asistenciju sjekača (Krpan i dr. 2004).



Slika 18. Skupni rad harvestera i forvardera

Uslijed mogućnosti razvrstavanja oblovine po vrstama drva i klasama kakvoće pri istovaru i njenog slaganja u visoke složajeve, sustav nema posebnih zahtjeva za prostorom pomoćnoga stovarišta, ukoliko je dinamika otpreme primjerena velikoj proizvodnosti ovog sustava. S druge strane, zbog sofisticiranih sredstava rada, postavljen je veliki zahtjev za posebno osposobljenim i iskusnim operaterima strojeva, pogotovo harvestera.

Prometne i nerazvedene terene uzdužnoga nagiba $<20\%$ potrebno je sekundarno otvarati pravilnom, odnosno paralelnom mrežom negrađenih traktorskih vlaka ("harvesterskih pruga") međusobnog razmaka 20 m, okomito na slojnice. Prostorni je raspored, tj. razmak traktorskih vlaka prvenstveno određen dosegom hidraulične dizalice harvestera te položajem primarne šumske prometne infrastrukture i vodenih tokova u prostoru (Krpan i Poršinsky 2001).

Plantak (2017) donosi rezultate istraživanja primjene sustava harvester – forvarder u proredama listača na području Šumarije Bjelovar, gospodarska jedinica "Bjelovarska Bilogora". Istraživanje strojne sječe i izradbe drvnih sortimenata te njihovog izvoženja obavljeno je u trajanju od šest radnih dana – ukupno je snimljeno 2609,54 minute utroška vremena sječe i izradbe te 3621,43 minute utroška vremena izvoženja forvarderom.

Tijekom istraživanja, harvesterom je posječeno 795 stabala; prsni promjeri kretali su se između 10 i 52 cm. Radni zahvat sječe trajao je 200,77 min, odnosno 0,25 min po stablu. Izrada do krošnje iznosila je ukupno 217,90 min, prosječno 0,27 min po stablu, a na radni zahvat izrade krošnje ukupno je utrošeno 681,75 min, odnosno 0,86 min po stablu. Prilikom izrade stabla do

krošnje harvester ne mora kresati grane, već vrši samo trupljenje. Najveći utrošak vremena izrade krošnje evidentiran je kod onih stabla koja su imala rašlje pa je njihova obrada zahtijevala veći utrošak vremena. Produktivnost harvestera kretala se od 33 stabla po satu za debljinski stupanj 12,5 cm do 8 stabala za debljinski stupanj 42,5 cm. U jednom satu moguće je posjeći i izraditi 3,9 m³ neto obujma oblog drva iz stabala prsnog promjera 12,5 cm do 16,8 m³ neto obujma oblog drva iz stabala prsnog promjera 42,5 cm.

U istom je istraživanju praćen i rad forvardera na uzorku od 41 turnusa, od čega je u 12 turnusa izvožena tehnička oblovina, a u 29 turnusa višemetarsko prostorno drvo. Prosječni tovar višemetarskog prostornog drva iznosio je 12,83 m³ po turnusu, dok je prosječni tovar tehničke oblovine iznosio 14,16 m³ po turnusu.

Okolišna pogodnost ovog sustava pridobivanja drva može se postići pravilnim odabirom prikladnih sječina i detaljnim pripremnim radovima u cilju smanjenja šteta na preostalim dubecim stablima, ograničenim kretanjem forvardera po sekundarnim prometnicama u cilju smanjenja površine gaženja šumskog tla, slaganjem zastora granjevine na traktorskim vlakama i dr. (Krpan i Poršinsky 2001).

Jedna od inovacija vezana uz forvarder, a koja je već pronašla svoju primjenu, jest sustav promjenjivog tovarnog prostora. Sustav radi na principu upravljanja nosačima tovarnog prostora s dodatnim zglobovima koji se mogu namještati što omogućuje dobivanje šireg tovarnog prostora od uobičajenog. Nosače je moguće postaviti u tri različita položaja. Dodatna značajka sustava jesu bočne potporne ručice čija se visina može prilagođavati pomoću hidraulike. Ručice su upravljane pomoću MaxiForwarder sustava, odnosno pomoću upravljačkih tipki na vozačevom sjedalu koje omogućuju podizanje i spuštanje potpornih ručica prilikom utovara i istovara. Time je omogućen brži utovar ili istovar trupaca zbog nižeg i šireg tovarnog prostora, a samim time i dizalica radi u kraćim radnim ciklusima. Također, tovarni se prostor može podijeliti na 2 ili 3 dijela čime je, pri utovaru sortimenata, omogućeno njihovo sortiranje. Rešetkasta zaštita na prednjem dijelu tovarnog prostora također se može proširiti pokrivajući cijelu širinu proširenog tovarnog prostora (Pandur i dr. 2009). Sustav omogućuje proširenje tovarnog prostora forvardera za 1,4 m, a samim time, uz istu količinu drva, spustiti točku težišta. Na taj je način značajno povećana stabilnost opterećenog forvardera i omogućena veća transportna brzina s većim tovarom. U hrvatskom bi se šumarstvu ova inovacija mogla

primijeniti u izvoženju sortimenata crnogorice ili brzorastućih listača gdje su sortimenti ili manjih dimenzija ili im je jedinična masa po komadu manja (Pandur i dr. 2009).

Razvoj i proizvodnja harvesterskih glava započela je u Skandinaviji 70-ih godina prošlog stoljeća. Prve harvesterske glave bile su hidraulički pogonjene te opremljene s dvije oštrice. Nedugo potom javlja se ideja o jednozahvatnoj harvesterskoj glavi; u početku je vršila kresanje grana i prerezivanje, a kasnije je na nju postavljena lančana pila, čime započinje era jednozahvatnih harvesterskih glava (Drushka i Kontinen 1997).

Današnje harvesterske glave sastoje se od čeličnog okvira s uređajem za promjenu položaja, valjcima, noževima za kresanje grana, reznog uređaja, senzorima, elektroničkim komponentama i dr. Rezni je uređaj hidraulički pokretan: to može biti lančana pila, cirkularna pila ili škare, ovisno o izvedbi i namjeni. Uusitalo (2010) ih dijeli s obzirom na promjer i težinu u tri klase, iako postoje i brojne druge podjele, npr. s obzirom na namjenu i sl.

Jedna od inovativnih izvedbi harvesterske glave jest i tzv. akumulacijska glava. Namijenjena je pridobivanju energijskog drva pa se naziva i energijskom glavom. Od klasičnih izvedbi harvesterskih glava razlikuje se po tome što nije opremljena noževima za kresanje grana i valjcima, a rezni uređaj najčešće su pile lančanice, kružne pile ili hidraulički pokretani sječni noževi.



Slika 19. Akumulacijska sječna glava

Harvesteri s akumulacijskim glavama često se koriste u proredama šumskih sastojina, tj. kod sječe stabala manjih promjera, pa su stoga glave opremljene, između ostalog, i zahvatnim “rukama”. Njihova je zadaća zadržavanje (ili akumulacija, odakle im i potječe naziv) posječenih stabala dok se ne posiječe i prikupi dovoljna količina stabala u zahvatnim “rukama” koja čini optimalnu količinu za sredstvo primarnog transporta.

Na iznimno strmim terenima koristi se sustav kojeg čine forvarder s vitlom i harvester s vitlom; također je potpuno mehaniziran, s identičnom podjelom rada i radnim zahvatima kao i kod prethodno opisanog sustava.

Među svim terenskim čimbenicima koji ograničavaju kretnost vozila pri radovima pridobivanja drva, posebno se ističe nagib terena sa važnim utjecajem na stabilnost vozila. McLean i Visser (2011) utvrđuju da vozila s visokom točkom težišta koja se kreću po nagibu, poput utovarenog forvardera, vrlo lako postaju nestabilna, čak i na relativno blagim nagibima terena. Kako bi šumski radovi na strmim i zahtjevnim terenima bili učinkoviti i produktivni, u praksu je uvedena primjena vitla s užetom koje ima ulogu sidrišta za šumska vozila.



Slika 20. Primjena sidrenog užeta

Upotreba vitla kao pomoćnog sredstva rada u šumarstvu u Europi primjenjuje se od početka 90-ih godina prošlog stoljeća (Sebulke 2011), s nizom proizvođača koji nude vitlo kao integrirani dio šumske mehanizacije ili kao zaseban priključak (Sutherland 2012). U početku su vitla, kao pomoćno sredstvo rada na strmim terenima, korištena na forvarderima (Bombosch

i dr. 2003, Wratschko 2006), dok danas postoje brojne opcije primjene na harvesterima (Sebulke 2011).

Koncept vuče pomoću vitla u suštini je jednostavan, no ugradnja na strojeve puno je složenija što je vodilo do različitih idejnih i konstrukcijskih rješenja. Danas su u primjeni dvije opcije: u prvoj, češćoj, vitlo je montirano na šasiju vozila, pri čemu proizvođači nude mogućnost skidanja vitla sa šasije, ako je to potrebno. U ovom je slučaju potrebno uzeti u obzir povećanje ukupne mase vozila što za sobom povlači i veću potrebnu snagu, odnosno veće dimenzije vozila. Također, potrebno je uzeti u obzir i nužne modifikacije kontrolnog sustava koje će osigurati upravljanje vitlom. Uže vitla u pravilu se veže oko dubećih stabala uz mjere opreze kako bi oštećivanje dubećih stabala bilo minimalno.

Drugu mogućnost primjene predstavlja zaseban sidreni stroj opremljen vitlom; najčešće bager ili buldozer. Uvođenjem dodatnog sredstva rada kao nosača i pogona vitla, ne postoje zahtjevi za povećanjem snage vozila kojim se obavlja sječa i izradba, a istovremeno, sidreni stroj je fleksibilan i mobilan na šumskoj sječini.

Nekolicina operativnih studija potvrđuje mogućnost izvođenja radova na strmom terenu isključivo uz primjenu vitla (ako se izuzme primjena šumskih žičara), koji bi u suprotnom bio nedostupan (Evanson i Amishev 2010, Evanson i dr. 2013). Što se tiče sigurnosti izvođenja radova, istraživanja koja su se bavila pitanjem napetosti užeta vitla pri radovima pridobivanja drva potvrđuju da stvarna napetost užeta redovito premašuje očekivanu, pa i od strane proizvođača preporučenu napetost (Hartsough 1993, Harrill i Visser 2014).

Iako se vitlo kao dio sustava pridobivanja drva na strmim terenima sve češće primjenjuje, tek je malen broj studija proveden koje istražuju produktivnost, troškove rada, okolišnu pogodnost i sigurnost pri radu s vitlom.

Posebnost ovog sustava jest opremljenost harvestera i forvardera sidreno-trakcijskim vitlom sa ciljem omogućavanja kretanja terenom uzdužnog nagiba $<50\%$ (Stampfer i Visser 2015). Vitlo je ugrađeno na stražnjem kraju forvardera i prednjem kraju harvestera, a osim sidrenja vozila, ima i zadatak osiguravanja njihove kretnosti na nagibu u trenucima nedovoljne vučne sile ili trakcije za sigurnu vožnju. Posebno valja istaknuti smanjeno klizanje kotača šumskih vozila koja su opremljena sidreno-trakcijskim vitlom, što za posljedicu ima i smanjeno sabijanje šumskoga tla. Također, vozila su dodatno opremljena žiroskopskom, rotirajućom, kabinom te polugusjenicama, a sve sa ciljem povećanja kretnosti vozila, odnosno njihove bočne stabilnosti.

Sustav se primjenjuje u oplodnim sječama i prorjedama brdskog i gorskog područja, prebornim sječama te sanacijama vjetroizvala na strmim sekundarno neotvorenim terenima.

4.2.3. Očekivani smjer razvoja

Jedan od ciljeva uvođenja mehanizacije u šumarstvo bio je olakšavanje i zamjena ljudskog i animalnog fizičkog rada, radom strojeva. Bez obzira koliko su današnji šumski strojevi i vozila napredovali u tehničkom smislu, još uvijek je potreban čovjek koji će njima upravljati (npr. harvester, kao tehnološki najnapredniji šumski stroj, zahtijeva operatera koji će upravljati harvesterском glavom pri sječi i izradbi drvnih sortimenata, iako nema konkretnog fizičkog rada kao kod rada s motornom pilom).

Tijekom posljednjeg desetljeća, na tržištu su se pojavili proizvodi i uređaji koji djelomično automatiziraju šumsku tehnologiju. Neki od njih su dizalice sa senzorima pokreta koje koriste poboljšani softver za kontrolu pokreta (Cranab 2015), aktivna suspenzija vozila koja poboljšava mogućnosti kretanja terenom (Ponsse 2017), hidraulični ventili opremljeni digitalnom elektronikom (Mathworks 2016, Danfoss 2015).

Mellberg (2013), kao tehnološki napredak kod harvestera, navodi mogućnost konstruiranja stroja koji će imati dvije, ili više, dizalice s harvesterском glavom, a koje će moći autonomno izvoditi radove, barem na kratak vremenski period. Dizajnerski problem u ovom je slučaju smještaj kabine s operaterom stroja koji mora imati dobru preglednost prilikom izvođenja radova.

Sljedeći razvojni korak tiče se dizajna vozila i daljinskog upravljanja što bi omogućilo konstruiranje vozila manjih dimenzija i mase. Daljinsko upravljanje vozilima omogućilo bi konstrukciju vozila bez kabine, čime bi se u određenoj mjeri smanjili troškovi proizvodnje, ali i povećala njihova nosivost pri izvoženju drva. Takva bi vozila imala bolje kretne mogućnosti uz smanjeno oštećivanje tla (Leijon 2016).

Predviđeni tehnološki napreci uvjetovat će restrukturiranje radova pridobivanja drva koji bi se u tom slučaju izvodili praktički bez prisutnosti šumskih radnika na šumskom radilištu, tj. oni bi daljinski upravljali strojevima i radnim operacijama.

Jedan od najvećih izazova kod opisanih mogućnosti tehnološkog napretka predstavlja sigurnost izvođenja radova takvim strojevima; u djelomičnoj automatiziranosti upitna je sigurnost operatera, a u potpunoj automatiziranosti, bez prisutnosti operatera na samome mjestu rada, upitna je sigurnost slučajnih prolaznika i životinja koji se zateknu u blizini radilišta.

Billingsley i dr. (2008) te Erler (2013) opisuju harvester opremljen “nogama” nalik pauku. Kod kretanja takvog stroja dolazilo bi do gaženja tla isključivo na točkama gdje stoje “noge”, što je i glavna prednost stroja u odnosu na kotačna ili gusjenična vozila gdje do sabijanja tla dolazi na površini cijele trase kretanja vozila.

Primjena novih tehnologija imat će veliki utjecaj na promjenu trenutačno korištenih sustava i metoda pridobivanja drva. Sami radni procesi možda se neće promijeniti, ali za očekivati je promjene kod šumske mehanizacije i strukture radnih operacija. One će svakako biti kompleksne, što zbog razvoja softvera i digitalizacije sustav, što zbog redizajniranja postojećih dijelova, imajući pri svemu tome na umu i profit.

Na temelju dostupnih izvora može se zaključiti da će sustavi pridobivanja drva izvoženjem u Republici Hrvatskoj imati još izraženiju ulogu, posebice u smjeru porasta primjene harvestera i forvardera. Mehanizirani sustavi pridobivanja drva izvoženjem naći će svoju primjenu i u prirodnim šumama, uz očekivana ograničenja primjene u zrelim sastojinama u kojima će njihova primjena zasigurno još neko vrijeme biti otežana dimenzijama stabala. U slučaju rješavanja problema sječe i izrade bjelogoričnih stabala većih dimenzija prilagodbom mase i ostalih tehničkih mogućnosti harvestera trebat će riješiti i pitanje okolišne pogodnosti takvih strojeva u našim uvjetima posebice u smislu ograničene nosivosti šumskog tla. Opremanjem harvestera i forvardera trakcijskim užetima očekuje se i dodatni porast korištenja navedenog sustava nauštrb ostalih sustava pridobivanja drva. I u slučaju manje primjene mehanizirane inačice sustava pridobivanja drva izvoženjem, djelomično mehanizirana inačica će vrlo vjerojatno u doglednoj budućnosti sve više zamijeniti djelomično mehanizirani sustav pridobivanja drva privlačenjem u svim uvjetima gdje to terenski čimbenici omogućuju. Navedeno će osim zamjene sredstva primarnog transporta uvjetovati i zamjenu poludeblovne metode sortimentnom, ali i bitno utjecati na promjenu organizacije rada.

Generalno, očekuje se da mehanizirani sustav pridobivanja drva izvoženjem, zbog očitih ergonomske i ekonomske prednosti, u narednom vremenu postupno zamjenjuje i djelomično mehanizirani sustav izvoženjem, ali i djelomično mehanizirani sustav privlačenjem u svim onim sastojinskim i terenskim uvjetima gdje je to moguće. Razvoj harvestera i forvardera u smjeru automatizacije postupaka samo će potaknuti širu primjenu, naravno ako se cjelokupno logističko okruženje prilagodi novim mogućnostima, što barem za sada kod nas nije u dovoljnoj mjeri iskorišteno primjerice u slučaju (ne)korištenja svih mogućnosti koje nam u tom smislu nudi sveobuhvatna primjena raspoloživih mogućnosti računalnog sustava harvestera.

4.3. SUSTAVI PRIDOBIVANJA DRVA IZNOŠENJEM

Jedan od mogućih načina primarnoga transporta drva jest i iznošenje drva šumskim žičarama pri čemu je oblovina pomoću užadi djelomično ili potpuno odignuta od tla (Tiernan i dr. 2002). Na taj je način međudjelovanje stroja i tla smanjeno ili u potpunosti uklonjeno. Upotrebom šumskih žičara smanjeno je i oštećivanje sastojine u odnosu na postupke kod kojih se privlačenje drva odvija vozilima kretnima po tlu (Han i Kellogg 2000). Žičare svoje mjesto pronalaze i u djelomično mehaniziranim sustavima i u mehaniziranim sustavima pridobivanja drva, a pri tome je moguće koristiti različite metode pridobivanja drva.

4.3.1. Povijesni pregled

Drvo se šumskim žičarama iznosi prvenstveno u brdsko-planinskom području, gdje je zbog velikih visinskih razlika na kratkim horizontalnim udaljenostima gradnja sekundarnih šumskih prometnica troškovno i okolišno neprihvatljiva (Pičman 2001). Isti autor šumske žičare svrstava u tercijarne šumske prometnice koje jednokratno otvaraju šumsku površinu.

Osnovna su značajka šumskih žičara najmanje dva užeta, od kojih jedno ima funkciju vuče tereta, a drugo, među ostalim mogućim, uvijek i zadaću nošenja tereta, dok kretnost ili pomičnost užadi osiguravaju višebubanjaska vitla (Košir 1997). Prema broju užadi koja se rabi kod pojedinih šumskih žičara, Trzesniowski (1998) dijeli žičare na one s jednim, dva, tri, četiri, pet i više užadi. Isti autor užad šumske žičare prema namjeni dijeli na nosivo uže (eng. *skyline*), vučno uže (*mainline*), povratno uže (*haulback line*), podizno uže (*hoisting line, skidding line*), pomoćno uže (*auxiliary line*), uže za vezanje tovara (*choker*), uže za sidrenje i stabilizaciju (*guyline*) te višenamjensko uže (*multi-purpose line*).

Šumske žičare razlikuju se prema smjeru iznošenja drva ovisno o obliku terena, odnosno njegovu nagibu. Kod gravitacijskih šumskih žičara, koje iznose drvo uz nagib terena, izostaje potreba za povratnim užetom zbog toga što se neopterećena kolica vraćaju u sječinu (niz nagib) isključivo pod utjecajem sile teže. Pri iznošenju drva niz nagib ili na ravnom terenu povratno uže vraća kolica u sječinu.

Iznošenje drva šumskim žičarama predstavlja okolišno pogodniji način privlačenja drva, u odnosu na privlačenje drva šumskim vozilima, zbog potpune odignutosti iznošenog drva od tla. Navedena se pogodnost osigurava zahtjevom da prilikom montiranja trase žičare visina nosivog užeta, u odnosu na tlo, mora biti najmanje 2/3 visine stabala u sječini, čime je osigurana zaštita tla od sabijanja i erozivnih procesa na strmim terenima, a usmjerenim obaranjem stabala, ali i

njihovim sakupljanjem do trase žične linije pod kutem od oko 45° (tzv. “riblja kost”) osigurava se smanjenje oštećivanja dubelih stabala (Poršinsky i Stankić 2005).

Današnje šumske žičare najčešće imaju obilježja žičara s nepomičnim nosivim užetom, odnosno spuštajućim nosivim užetom, gdje otpuštanje nosivoga užeta nema namjenu spuštanja kolica na tlo prilikom vezanja tereta, već automatsko podešavanje progiba nosivoga užeta ovisno o težini ovješena tereta. Stoga Poršinsky i Stankić (2005) razvrstavaju današnje šumske žičare s obzirom na način pogona na:

- šumske žičare s vlastitim pogonskim uređajem postavljene na kamionima,
- šumske žičare koje koriste pogonski uređaj radnoga stroja na koji su priključene,
- vučene šumske žičare s vlastitim pogonskim uređajem na priključnim vozilima,
- šumske žičare s vlastitim pogonskim uređajem na saonicama,
- samovozna kolica.

Na proizvodnost šumskih žičara značajno utječe sječna gustoća sastojine, koju treba promatrati u zajedništvu s načinom rasporeda, ali i razmakom između trasa žičare, budući da je proizvodnost sustava značajno opterećena utrošcima vremena montiranja i demontiranja žičnih linija, čime se u konačnici dolazi do sječne gustoće po metru žične linije kao izvedenoga utjecajnoga čimbenika (Tiernan i dr. 2002). Značajan utjecaj ima i prosječni obujam oblovine koja se iznosi žičarom, a koji predstavlja međudjelovanje dimenzija doznačenih stabala te primijenjene metode izradbe drva. Košir (2003) na osnovi tih dvaju općepoznatih zakona mehaniziranja šumskih radova analizira optimalnu duljinu žičnih linija.

Usmjereno obaranje stabala i/ili priprema tovara uzduž žične linije drugim sredstvom rada (npr. *steep terrain harvester*) povećava razinu proizvodnosti iznošenja drva žičarom (Heinimann i dr. 1998). Brzo zatrpavanje istovarnih rampi na pomoćnom stovarištu zahtijeva dodatno sredstvo rada kojim je moguće uhrpavati i razvrstavati izneseno drvo, čime rastu ukupni troškovi pridobivanja drva.

Pristupnost šumskom području, koja se očituje u primarnoj otvorenosti šumskim prometnicama, zajedno s terenskim čimbenicima izvođenja šumskih radova, predstavljaju najvažnije čimbenike koji utječe na raspored, ali i duljinu žičnih linija. Uz pomoć digitalnog modela terena moguće je planiranje položaja žičnih linija na određenoj šumskoj površini, što otvara mogućnost za optimizaciju i racionalizaciju gustoće mreže šumskih prometnica (Chung

i dr. 2003). Osim načina rasporeda, na međusobni razmak žičnih linija utječe moguća udaljenost postranoga privlačenja oblovine do žične linije pojedinoga tipa šumske žičare (Lukáč i dr. 2001).

Same tehničke značajke šumske žičare, vremenske prilike te uvježbanost, iskustvo i motiviranost radne ekipe, kao i sustav komunikacije među radnicima na istovarnoj rampi i sječini utječu na proizvodnost iznošenja drva. Osim navedenih utjecajnih čimbenika, na godišnju razinu proizvodnosti utječe i veličina sječnih jedinica, njihov međusobni položaj, vrsta prihoda, razina mehaniziranosti sječe i izradbe drva, broj radnih dana u godini te kakvoća planiranja izvođenja radova (Talbot 2004).

U usporedbi s alpskim i sjevernoameričkim zemljama, u kojima se šumske žičare upotrebljavaju već gotovo cijelo stoljeće, žičare u hrvatskom šumarstvu imaju tek sporadičnu primjenu (Sever 1987, Krpan i Ivanović 1997, Krpan i dr. 2003, Žagar 2004). Uzrok tome ponajprije je viša nabavna cijena žičnih sustava, viši troškovi iznošenja drva, potreba za izvježbanom i usklađenom skupinom radnika, ali i tradicija privlačenja drva u brdsko-planinskim prebornim šumama koja se zasniva na gradnji traktorskih putova te vuči drva skiderom (Krpan i dr. 2003).

U ukupnoj analizi pogodnosti privlačenja drva skiderom u prebornim šumama u Hrvatskoj ne smiju se zanemariti ni oštećenja dubećih stabala, koja se kreću u rasponu od 1,7 do 2,3 % od preostalog broja stabala nakon sječe (Sabo 2000, Sabo 2003). Tim oštećenjima treba pribrojiti i oštećenja nastala pri izgradnji traktorskih putova bagerom opremljenim hidrauličnim čekićem, koja Pičman i dr. (2003) utvrđuju u iznosu od 12 stabala na 100 m traktorskog puta.

Usporedba djelotvornosti iznošenja drva žičarom Steyr KSK 16 s vučom drva skiderom Timberjack 240C u brdsko-planinskim šumama te izvođenja drva forvarderom Timberjack 1710B u nizinskim šumama u Hrvatskoj pokazala je manju proizvodnost, ali i troškovnu nekonkurentnost šumskih žičara u odnosu na sredstva za privlačenje drva koja su kretna po tlu (Poršinsky i Stankić 2005). Međutim, Krpan i Poršinsky (2002) suprostavljaju se donošenju sudova o korištenim strojevima samo na osnovi njihove djelotvornosti, iznoseći mišljenje da se odabir strojeva i metoda rada treba temeljiti na prosudbi o njihovoj proizvodnosti, ali i prilagođenosti ekološkim, ergonomskim, ekonomskim, energijskim i estetskim zahtjevima (5E).

4.3.2. Trenutno stanje

Uvođenje šumskih žičara u radove pridobivanja drva omogućuje primjenu različitih metoda pridobivanja drva, svaku sa svojim prednostima i manama. U sljedećem će dijelu ukratko biti opisane sortimentna metoda pridobivanja drva, s primjenom šumske žičare u dvije inačice (vučena i nošena te stupna kamionska žičara), a zatim stablovna metoda pridobivanja drva. Predstavljeni sustavi djelomično su mehanizirani jer se, uz šumske žičare, primjenjuje i motorna pila.

Prvi se sustav odnosi na primjenu motorne pile, kojom se obaraju stabla i izrađuje oblo drvo, i vučene žičare kojom se izrađeno drvo iznosi iz sječine. Česta sastavnica ovog sustava je i adaptirani poljoprivredni traktor koji služi za: premještanje vučene žičare s jedne na drugu trasu žičnih linija unutar istog šumskog radilišta, premještanje vučene žičare s jednog na drugo šumsko radilište te uhrpavanje iznešenoga drva uzduž šumskih cesta (Poršinsky i Stankić 2005). Osim vučene, šumske žičare u ovom sustavu mogu biti i nošene; adaptirani poljoprivredni traktor u tom je slučaju njihov nosač i izvor pogona. Vučene i nošene šumske žičare najčešće se proizvode kao gravitacijske šumske žičare, tj. dvoužetni žični sustavi (nosivo i vučno uže) te nisu pogodne za rad na ravnome terenu. Ulogu postranoga sakupljanja drva vrši vučno uže.

Djelotvornost sustava određena je prvenstveno sječnom gustoćom koja bi trebala iznositi minimalno $0,5 \text{ m}^3/\text{m}'$ trase žične linije, a uslijed značajnih utrošaka vremena montiranja i demontiranja trase žične linije. Terenski čimbenici izvođenja šumskih radova (nagib terena, nosivost podloge, površinske prepreke) nemaju značajan utjecaj na djelotvornost iznošenja drva vučenim žičarama. Dimenzije izrađene oblovine postaju ograničavajući čimbenik u slučaju kada masa oblovine nadilazi prekidnu čvrstoću nosivog uža, odnosno nosivost kolica ($<1 \text{ t}$) (Poršinsky i Stankić 2005). Uslijed nemogućnosti uhrpavanja oblovine u složajeve, a u cilju razvrstavanja oblovine, sustav zahtijeva razvučenja pomoćna stovarišta uz rubove šumskih cesta brdskog ili gorskog područja.

Sa stajališta obučenosti radnika, pored radnika sjekača, primjena vučene šumske žičare postavlja zahtjev za obučenim žičničarem, odnosno vozačem traktora. Primjenom skupnoga rada sustav ne zahtijeva dodatnog pomoćnog radnika kopčasa jer vezivanje tovara obavlja sjekač, a odvezivanje operater na žičari. Prilikom izvođenja rada ovim sustavom pridobivanja drva, poželjna je rotacija radnih mjesta unutar skupine u cilju ostvarivanja povoljnih dugoročnih ergonomske efekata.

Mrežu sekundarnih šumskih prometnica pri iznošenju drva šumskim žičarama predstavljaju žične linije koje se ne smatraju građevinskim objektima, a nastaju prosijecanjem trase žičare u širini do 2 m. Na položaj i raspored žičnih linija, usporedni ili lepezasti, presudan utjecaj ima položaj šumske prometnice. Razmak između žičnih linija treba iznositi 30 – 40 m, a doznaka stabala provodi se tek nakon određivanja položaja i rasporeda žičnih linija, dok najveća udaljenost privlačenja drva u ovome sustavu pridobivanja drva iznosi do 400 m (Poršinsky i Stankić 2005).

Vučena šumska žičara primjenjuje se u proredama šuma brežuljkastog, brdskog i gorskog područja te sanacijama požarišta mediteranskog krša. Iako su tipično područje rada šumskih žičara tereni >50 % nagiba, one se uspješno primjenjuju i na, za šumska vozila neprometnim i sekundarno neotvorenim terenima nagiba >33 % (Poršinsky i Stankić 2005).

Drugi sustav čine motorna pila i stupna kamionska žičara s dizalicom i hvatalom. Podjela radnih zahvata identična je kao i kod prethodnog opisanog sustava.

Stupne kamionske žičare najčešće se proizvode kao četveroužetni žični sustavi (nosivo, vučno, povratno i podizno uže) te su pogodne za iznošenje drva bez obzira na smjer nagiba terena, ali i iznošenje drva na ravnome terenu. Ulogu postranoga sakupljanja drva vrši podizno uže.

Djelotvornost sustava određena je prvenstveno sječnom gustoćom (minimalno 1 m³/m' trase žične linije), uslijed izrazitih utrošaka vremena montiranja i demontiranja trase žične linije, dok terenski čimbenici izvođenja šumskih radova nemaju značajan utjecaj na djelotvornost iznošenja drva. Sustav je ograničen dimenzijama izrađene oblovinine u slučaju kada njihova masa nadilazi prekidnu čvrstoću nosivog uža, odnosno nosivost kolica (<3 t). Opremanjem stupnih kamionskih žičara dizalicom s hvatalom omogućeno je u doseg hidraulične dizalice slaganje drva u složajeve, čime je otklonjen problem brzog zatrpavanja istovarnih rampi pomoćnog stovarišta privučenom oblovinom. Iako kamionska žičara ima mogućnost kretanja po javnim prometnicama pri premještanju s jednoga radilišta na drugo, sustav nije prihvatljiv za površinom mala i negrupirana šumska radilišta uslijed vremenskih zahtjeva montiranja i demontiranja trasa žičnih linija, što je i osnovno ograničenje ovoga sustava pridobivanja drva.

Sa stajališta djelotvornosti sustava, pored radnika kopčaća, koji istovremeno ima i ulogu radnika sjekača (sječa i izradba), kamionska žičara kao visokoproduktivno sredstvo rada postavlja veliki zahtjev za posebno osposobljenim i iskusnim operaterom – žičničarem.

Najveća udaljenost privlačenja drva u ovome sustavu pridobivanja drva iznosi do 800 m (Poršinsky i Stankić 2005).

Stupna kamionska žičara s dizalicom i hvatalom primjenjuje se u oplodnim sječama šuma brežuljkastog, brdskog i gorskog područja, prebornim sječama te sanacijama požarišta mediteranskog krša. U uvjetima prekomjerne zasićenosti hidromorfni tala nizinskog područja, sustav nalazi primjenu i u oplodnim sječama nizinskog područja (Poršinsky i Stankić 2005).

Ekološki pogodnu inačicu stablovne metode pridobivanja drva predstavlja visoko mehanizirani sustav pridobivanja drva kojeg čine motorna pila i kamionska žičara. Stabla se obaraju motornom pilom, a iznošenje, ali i izradba, obavlja se stupnom kamionskom žičarom s dizalicom i procesorskom glavom. Spajanjem iznošenja i izradbe drva osigurano je povećanje proizvodnosti cijelog sustava, a ona, između ostalog, ovisi o sječnoj gustoći čija bi minimalna vrijednost trebala iznositi 1 m³/m' trase žične linije.

Sustav je ograničen prvenstveno masom stabala, i to u slučaju kada ona nadilazi prekidnu čvrstoću nosivog užeta, ali i mogućnostima procesorske glave. Primjena stablovne metode također uvjetuje uhrpavanje šumskog ostatka na mjestu izradbe drva, a nakon njegovog prosušivanja, usitnjava se iveračem.

Pored radnika sjekača koji vrši isključivo obaranje i kopčanje oborenih stabala, kamionska žičara zahtijeva i posebno osposobljenog i iskusnog operatera – žičničara. On, osim što upravlja žičarom, odvezuje privučena stabla i upravlja dizalicom s procesorskom glavom, odnosno slaže i razvrstava izrađene drvene sortimente.

Najveća udaljenost privlačenja drva u ovom sustavu pridobivanja drva iznosi do 800 m uslijed standardiziranih duljina nosivoga uža promjera 20 (18) mm (Poršinsky i Stankić 2005).

Sustav je prvenstveno razvijen za pridobivanje drva četinjača, a primjenjuje se u oplodnim sječama šuma brdskog i gorskog područja, prebornim sječama te sanacijama požarišta mediteranskog krša.

Osim primjenom procesorske glave na dizalici stupne kamionske žičare sustav pridobivanja drva iznošenjem moguće je dodatno mehanizirati integracijom posebnog sredstva rada s procesorskom glavom čime navedeni sustav postaje visokomehaniziran. No, u tom je slučaju bitno je obratiti pozornost na dodatne troškove koje angažman dodatnog sredstva i radnika može uzrokovati, odnosno može li navedena odluka biti opravdana dovoljnim porastom proizvodnosti cjelokupnog sustava.



Slika 21. Povećanje mehaniziranosti sustava pridobivanja drva iznošenjem integracijom dodatnog sredstva rada s procesorskom glavom

Pri primjeni šumske kamionske žičare s procesorskom glavom u našim uvjetima nužno je obratiti pozornost na stupanj mogućnosti adekvatne primjene u stablovnoj metodi s obzirom na zahtjevnost izrade krošanja bjelogoričnih stabala.

Tek prilikom uvrštavanja harvestera u sustav pridobivanja drva iznošenjem (uz pretpostavku korištenje žičare s procesorskom glavom ili barem hidrauličkom dizalicom s hvatalom) možemo govoriti o (potpuno mehaniziranom sustavu pridobivanja drva). No, s obzirom da na strukturu vremena rada harvestera na razini pojedinih radnih zahvata upitno je troškovno opravdano korištenje harvestera samo za sječu stabala, a s druge strane primjena sortimentne metode ima slične negativne efekte na primjenu žičare kao i kod skidera.



Slika 22. Stupna kamionska šumska žičara s procesorskom glavom

Iznošenje se drva osim žičarama može obaviti i helikopterskim transportom, koji kod nas do sada nikada nije primijenjen. Helikopter primarno nije razvijen za obavljanje šumskih radova, no ipak je u nekim zemljama poput SAD-a ili Novog Zelanda (Chua 1993) uspješno uveden u radove pridobivanja drva.

Koristi se kao dio djelomično mehaniziranog sustava pridobivanja drva (polu)deblvnom ili sortimentnom metodom. Osnovne značajke korištenja helikoptera u šumskim radovima jesu neovisnost o terenskim čimbenicima i otvorenosti šuma budući da se kreće zrakom, što ga čini iznimno pogodnim za rad na osjetljivim šumskim staništima jer ne dolazi do gaženja ili sabijanja tla kao kod ostale, po tlu kretne, mehanizacije (Poršinsky 2016).

Svoju primjenu najčešće pronalazi kod izvođenja radova na nepristupačnim i neotvorenim terenima te zaštićenim terenima (npr. nacionalni parkovi), kao i u situacijama kada treba u vrlo kratkom vremenskom roku privući drvo bez obzira na troškove (npr. vjetroatizvale, gradacije šumskih štetnika i sl.).

Kao glavni nedostaci korištenja helikoptera ističu se njegova iznimno visoka nabavna cijena, ograničena nosivost, zahtjev za obučenom radnom snagom, zahtjev za detaljnim planiranjem i usklađivanjem svih šumskih djelatnika u proizvodnom procesu te povećana opasnost pri radu (npr. uočavanje radnika kopčaća od strane pilota, buka u okolišu i dr.).

Helikopter također ima značajno veće zahtjeve kad je riječ o stovarištima, tj. sletištimu u odnosu na klasičnu šumsku mehanizaciju. Potrebne su puno veće površine nego kod uobičajenog privlačenja drva zbog mjesta odlaganja drva, mjesta izradbe ili dorade drva, ali prvenstveno zbog mjesta slijetanja helikoptera te prostora za skladištenje i čuvanje goriva. U slučaju korištenja stablovne ili deblovne metode, postoji potreba za uvođenjem dodatnih radnika ili strojeva što povećava ukupni trošak pridobivanja drva.

4.3.3. Očekivani smjer razvoja

Jedan od smjerova današnjega tehnološkoga razvoja šumskih žičara jesu kolica s pogonskim uređajem u vlastitom kućištu – pogonski uređaj može služiti kao izvor energije za pogon podiznoga užeta i/ili za pogon podiznoga užeta i za vožnju kolica po nosivom užetu. Kolica su upravljana daljinskim radijskim uređajem. Negativna strana takvih kolica jest što njihova masa premašuje masu klasičnih kolica bez pogonskog uređaja čak i do tri puta, čime je smanjena nosivost ove šumske žičare (Trzesniowski 1998).

Stupna kamionska žičara s dizalicom i hvatalom ili procesorom predstavlja drugi smjer razvoja šumskih žičara, a ujedno je i zadnji doseg razvoja današnjih šumskih žičara. Izborom alata za prihvat drva (hvatalo ili procesorska glava za izradbu drva) otvorena je mogućnost brze prilagodbe sustava ovisno o primijenjenoj metodi izradbe drva pojedine sječine (Heinimann i dr. 2001). Pri tome se, u slučaju stablovne metode izradbe drva, spajaju izradba i iznošenje, što u konačnici povećava proizvodnost cijelog sustava pridobivanja drva (Košir 2004). Bez obzira na izbor alata za prihvat drva, a time i metode izradbe drva, omogućeno je u dohvatu hidraulične dizalice slaganje drva u složajeve, čime je otklonjen problem brzoga zatrpavanja na istovarnoj rampi pomoćnoga stovarišta.

Nakon dugog perioda samo povremene uporabe šumskih žičara u hrvatskom šumarstvu, u travnju 2020. godine „Hrvatske šume“ d.o.o. nabavljaju dvije žičare. Rad je navedenim žičarama organiziran u dvije smjene, a rade tri radnika – operater koji obrađuje stabla procesorskom glavom te dva sjekača/kopčasa u sječini. Dnevno se iznosi od 50 do 70 m³, a s obzirom da je to tek razdoblje obuke radnika, očekuju se i veći učinci („Hrvatske šume“ 2020). Nabava navedenih strojeva nagovještuje stanoviti zaokret u dosadašnjoj praksi pridobivanja drva na nagnutom terenu, a zasigurno otvara i nove mogućnosti primijenjenih istraživanja u cilju optimizacije sustava pridobivanja drva iznošenjem.

Unatoč troškovnoj nekonkurentnosti šumskih žičara (veći jedinični troškovi iznošenja drva) razlozi za njenu daljnju buduću upotrebu u Hrvatskoj, kao sredstva primarnog transporta, tj. iznošenja drva, postoje; u obzir treba uzeti i prisutne oblike zaštićenih područja prirode na koje otpada oko 8 % ukupnog teritorija Republike Hrvatske (MZOE 2020). Tvrdnja se dodatno potkrjepljuje navodom Grammela (1988), koji ističe da se privlačenje drva vučom i izvoženjem traktorima te iznošenjem žičarom troškovno izjednačuju ako se u obzir uzmu okolišne i estetske sastavnice koje bi trebalo troškovno valorizirati.

5. ZAKLJUČCI

- Primjena sustava privlačenja drva po tlu odigrala je značajnu ulogu u omogućavanju tehnološkog skoka pridobivanja drva u šumarstvu Republike Hrvatske. Nemogućnost primjene navedenog sustava na razini potpune mehaniziranosti (strojna sječa, privlačenje stablovnom metodom, mehanizirana izrada na pomoćnom stovarištu) u našim uvjetima, ne obećava napredak koji otvara primjena ostalih analiziranih sustava. No, unatoč navedenom može se očekivati zadržavanje primjene sustava u svim terenskim i sastojinskim uvjetima u kojima je primjena ostalih sustava ograničena ili onemogućena, a što će i dalje činiti značajan udio u našem šumarstvu.
- Sustavi će pridobivanja drva izvoženjem u Republici Hrvatskoj imati još izraženiju ulogu, posebice u smjeru porasta primjene harvestera i forvardera. Mehanizirani sustavi pridobivanja drva izvoženjem naći će svoju primjenu i u prirodnim šumama, uz očekivana ograničenja primjene u zrelim sastojinama u kojima će njihova primjena zasigurno još neko vrijeme biti otežana dimenzijama stabala.
- I u slučaju manje primjene mehanizirane inačice sustava pridobivanja drva izvoženjem, djelomično mehanizirana inačica će vrlo vjerojatno u doglednoj budućnosti sve više zamijeniti djelomično mehanizirani sustav pridobivanja drva privlačenjem u svim uvjetima gdje to terenski čimbenici omogućuju. Navedeno će osim zamjene sredstva primarnog transporta uvjetovati i zamjenu poludeblovne metode sortimentnom, ali i bitno utjecati na promjenu organizacije rada.
- Razvoj harvestera i forvardera u smjeru automatizacije postupaka dodatno će potaknuti širu primjenu mehaniziranog sustava pridobivanja drva izvoženjem, naravno ako se cjelokupno logističko okruženje prilagodi novim mogućnostima.
- Primjena šumskih žičara, ali vrlo vjerojatno na razini djelomične mehaniziranosti, prvenstveno se očekuje u slučajevima kada će primarni kriterij odabira biti okolišna pogodnost.

6. LITERATURA

1. Ackerman, P., Längin, D., 2010: South African Ground Based Harvesting Handbook, Institute for Commercial Forestry Research, Scottsville, South Africa.
2. Barešić, P., 2016: Smjernice razvoja forvardera. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
3. Benić, R., 1950: Skideri u eksploataciji šuma. Šumarski list 74(9–10): 388–400.
4. Beuk, D., Tomašić, Ž., Horvat, D., 2007: Stanje i razvoj mehaniziranosti pridobivanja drva u hrvatskom državnom šumarstvu. Nova mehanizacija šumarstva 28(1): 3–21.
5. Billingsley, J., Visala, A., Dunn, M., 2008: Robotics in agriculture and forestry. In: Springer handbook of robotics, Springer Berlin Heidelberg, 1065–1077p.
6. Birt, B., 2015: Morfološka raščlamba traktorskih šumskih poluprikolica. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
7. Bojanin, S., 1971: Analiza rada zglobnih traktora kod izvlačenja debala. Šumarski list 95 (7-8): 231–256.
8. Bojanin, S., Sever, S., Tomičić, B., Djanešić, D., 1976: Izvoz tehničke oblovine i prostornog drva zglobnom ekipažom VOLVO 860 TC. Mehanizacija šumarstva 1 (1-2): 9–33.
9. Bojanin, S., Sever, S., 1979: Istraživanja učinka traktora gusjeničara TDT 55, kod izvlačenja duge oblovine jasena, na nizinskom blatnjavom terenu. Mehanizacija šumarstva 4(1–2): 1–12.
10. Bojanin, S., 1981: Istraživanje utroška vremena i učinka traktora LKT-80 kod izvlačenja drva. Mehanizacija šumarstva 6 (7–8): 202–216.
11. Bojanin, S., 1986: Stanje i razvoj iskorišćivanja šuma u SR Hrvatskoj. Šumarski list 110(7-8): 323–331.
12. Bojanin, S., Krpan, A. P. B., 1994: Eksploatacija šuma pri različitim radnim uvjetima u Hrvatskoj. Šumarski list 118(9–10): 271–283.
13. Bojanin, S., Krpan, A. P. B., 1997: Prilagodba tehnologije rada privlačenja drva zaštiti šuma. Šumarski list 121(5–6): 243–253.
14. Bojanin, S., Krpan, A. P. B., 1997: Mogućnost tzv. visokog i potpunog mehaniziranja sječe i izrade te mehaniziranja privlačenja drva u šumama Hrvatske. Šumarski list 121(7/8): 371–381.
15. Bombosch, F., Sohns, D., Nollau, R., Kanzler, H., 2003. Are forest operations on steep terrain with wheel mounted forwarders without slippage possible? Austro 2003: High

- Tech Forest Operations for Mountainous Terrain. October 5-9. 2003. Schlaegl-Austria. 5p.
16. Bručić, G., 1997: Morfološka prosudba nekih značajki harvesterških glava. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–31.
 17. Chua, D., 1993. A case study on helicopter harvesting in the hill mixed dipterocarp forests of Sarawak. Research Report No. FE 1/93, Forest Department, Kuching, Sarawak.
 18. Chua, D. 1995. Helicopter harvesting in the hill mixed dipterocarp forests of Sarawak using the Boeing 234 Chinook. Case Study Report No. FE 1/95, Forest Department, Kuching, Sarawak.
 19. Chung, W., J. Sessions, H. R. Heinimann, 2003: Optimization of cable harvesting equipment placement and road locations using digital terrain model. Proceedings of Workshop »New Trends in Wood Harvesting with Cable Systems for Sustainable Forest Management in the Mountains«, Joint FAO/ECE/ILO & IUFRO, 18 – 24 June 2001, Ossiach (Austria), FAO, Rome, 247–252.
 20. Cranab, 2015: Forwarder cranes with world leading technology.
www.cranab.se/site_specific/.../05/cran_fc_2015-eng-lr.pdf (pristupljeno 17.9.2020.)
 21. Danfoss, 2015: Robust and efficient in harsh environments.
<http://www.danfoss.com/technicalarticles/cf/robust-and-efficient-in-harsh-environments/?ref=17179879857#/> (pristupljeno 17.9.2020.)
 22. Drushka, K., Konttinen, H., 1997: Tracks in the Forest-The Evolution of Logging Machinery. Timberjack Group Oy, Helsinki, Finland, 126–254.
 23. Dvořák, J., Natov, P., Kašpar, J., Szewczyk, G., Kormanek, M., 2016: Comparison of Standing Timber Sorting with Bucking by Harvesters. In: From Theory to Practice: Challenges for Forest Engineering; Proceeding and Abstracts of the 49th Symposium on Forest Mechanization, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland, September 4 - 7, pp. 13–18.
 24. Đuka, A., 2014: Razvoj modela prometnosti terena za planiranje privlačenja drva skiderom. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–303.
 25. Đuka, A., Poršinsky, T., 2016: Analiza kamenitosti i stjenovitosti terena za potrebe privlačenja drva. Nova mehanizacija šumarstva 36(1): 43–52.
 26. Đuka, A., Pentek, T., Horvat, D., Poršinsky, T., 2016: Modelling of Downhill Timber Skidding: Bigger Load – Bigger Slope. Croatian journal of forest engineering 37(1): 139–150.

27. Đuka, A., Grigolato, S., Papa, I., Pentek, T., Poršinsky, T., 2017: Assessment of timber extraction distance and skid road network in steep karst terrain. *Forest-Biogeosciences and Forestry* 10: 886–894.
28. Đuka, A., Poršinsky, T., Pentek, T., Pandur, Z., Vusić, D., Papa, I., 2018: Mobility Range of a Cable Skidder for Timber Extraction on Sloped Terrain. *Forests* 9(9) 1–11.
29. Erler, J., Dög, M., 2009: Funktiogramme für Holzernteverfahren. *Forsttechnische Informationen* 61(9-10): 14–17.
30. Erler, J., 2013: Portalharvester und Flachlandseilkran (Portalharvester and Flat-land cable crane). *Forst & Technik* 9: 18–21.
31. Evanson, A. W., Amishev, D. 2010. A steep terrain excavator feller buncher. *Harvesting Technical Note HTN03-02*. 8p. Future Forests Research Ltd, New Zealand.
32. Evanson, T., Amishev, D., Parker R., Harrill, H. 2013. An evaluation of a ClimbMAX Steep Slope Harvester in Maungataniwha Forest, Hawkes Bay. *Harvesting Report H013*. Future Forests Research Ltd., Rotorua, New Zealand.
33. Forbrig, A., B. G. Encke, 1996: Tagungsführer zur 12 KWF-Tagung 1996. Oberhof-Thüringen, KWF, Gross-Umstadt, 1–136.
34. Grammel, R., 1988: *Holzernte und Holztransport*. Verlag Paul Parey, Hamburg – Berlin, 1–242.
35. Gregov, G., 2012: Prilog istraživanju modeliranja hidrostatske transmisije na šumskom vozilu. Doktorska disertacija, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci.
36. Gužvinec, H., Zorić, M., Šušnjar, M., Horvat, D., Pandur, Z., 2012: Utjecaj načina sidrenja na vrijednost horizontalne sastavnice vučne sile i faktor prijanjanja prilikom privitlavanja drva skiderom i adaptiranim poljoprivrednim traktorom. *Nova mehanizacija šumarstva* 33 (1): 23–33.
37. Han, H.-S., Kellogg, L. D., 2000: Damage Characteristics in Young Douglas-fir Stands from Commercial Thinning with Four Timber Harvesting Systems. *Western Journal of Applied Forestry* 15(1): 27–33.
38. Harrill, H., Visser, R. 2014: Skyline Tensions and Productivity of a Motorised Grapple Carriage. Report FFR-H015, Future Forests Research Ltd., Rotorua, New Zealand.
39. Hartsough, B., 1993. Benefits of remote tension monitoring. LIRO Report 18(23). Logging Industry Research Organisation, Rotorua, New Zealand. 13p.
40. Heinimann, H. R., Visser, R. J. M., Stampfer, K., 1998: Harvester – Cable Yarder System Evaluation on Slopes – a Central European Study in Thinning Operations.

Proceedings of the Annual Meeting of the Council of Forest Engineering »Harvesting logistics: from woods to market«. 20 – 23 July 1998, Portland, Oregon, 39 – 44.

41. Heinimann, H. R., Stampfer, K., Loschek, J., Caminada, L., 2001: Perspectives on Central European Cable Yarding Systems, Proceedings of International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium, 10 – 12 December, 2001, Seattle, USA, 268 – 279.
42. Heinrich, H., 1998: Recent developments on environmentally friendly forest road construction and wood transport in mountainous forests. Proceedings of the Seminar on environmentally sound forest roads and wood transport, Sinnaia, FAO Rome, 366–376.
43. Hittner Bjelovar <http://hittner.hr> (pristupljeno 20.8.2020.)
44. Hohmann, F., Ligocki, A., Frerichs, L., 2017: Harvester measuring system for trunk volume determination: comparasion with real trunk volume and applicability in the forest industry. Bulletin of the Transilvania University of Braşov 10(59): 27–33
45. Horvat, D., 1990: Predviđanje vučnih karakteristika šumskog zglobnog traktora – skidera. Mehanizacija šumarstva 15(7–8): 113–118.
46. Horvat, D., 1993: Prilog proučavanju prohodnosti vozila na šumskom tlu. Disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1–234.
47. Horvat, D., Tomašić, Ž., 2003: Usporedba penetracijske značajke tla traktorske vlake i vučne značajke adaptiranoga poljoprivrednoga traktora. Glasnik za šumske pokuse, 40: 59–79.
48. Horvat, D., Šušnjar, M., Tomašić, Ž., 2004: New technical and technological solutions in thinning operations of lowwland forests, Poster br. 410, Prvi kongres hrvatskih znanstvenika iz domovine i inozemstva, Zagreb – Vukovar, 15. – 19. studenog 2004, Zbornik sažetaka postera znanstvenih novaka izlaganih u inozemstvu 2002., 2003. i 2004. godine, Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske, I. dio, 427 str.
49. Horvat, D., Spinelli, R., Šušnjar, M., 2005: Resistance coefficients on ground-based winching of timber. Croatian Journal of Forest Engineering 26(1): 3–11.
50. Horvat, D., Zečić, Ž., Šušnjar, M., 2007: Morfološke i proizvodne značajke traktora Ecotrac 120V. Nova mehanizacija šumarstva 28(1): 81–93.
51. Hoss, C., 2001: Harvester simulators as effective tools in education. Proceedings of International conference »Thinnings: A valuable forest management tool«, September 9-14, 2001, IUFRO Unit 3.09.00 & FERIC & Natural Resources Canada & Canadian Forest Service, CD.

52. Hrvatske šume <http://casopis.hrsume.hr/pdf/283.pdf> (pristupljeno 5.9.2020.)
53. ISO <https://www.iso.org/standard/23020.html> (pristupljeno 12.9.2020.)
54. Jaako Pöyry Consulting, Inc. 1992. Harvesting systems: A background paper for a Generic Environmental Impact Statement on timber harvesting and forest management in Minnesota. Jaako Pöyry Consulting, Inc., Tarrytown, NY. 50 p.
55. Klase, W., Steele, T. W., 2011: Logging methods for Wisconsin woodlands, University of Wisconsin, The Wisconsin Department of Natural Resources.
56. Košir, B., 1997: Pridobivanje lesa. Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete v Ljubljani, 1–332.
57. Košir, B., 2003: Optimal line lengths when skidding wood with the Syncrofalke Cable Crane in Slovenian conditions. Proceedings of Workshop »New Trends in Wood Harvesting with Cable Systems for Sustainable Forest Management in the Mountains«, Joint FAO/ECE/ILO&IUFRO, 18 – 24 June 2001, Ossiach (Austria), FAO, Rome, 81 – 90.
58. Košir, B., 2004: Prospects of forest cableways use in Slovenia. International symposium »Cable Yarding Suitable for Sustainable Forest Management«. Slovenian Forestry Institute, 23 September 2004, Idrija, Slovenia, 35–50.
59. Krpan, A. P. B., 1983: Utjecaj vlage tla na prohodnost traktora u nizinskim šumama Posavine. Zbornik radova »Mehanizacija šumarstva u teoriji i praksi«, Opatija, 193 – 201.
60. Krpan, A. P. B., 1984: Istraživanje upotrebljivosti traktora IMT-558 na privlačenju oblovine u uvjetima nizinskih šuma Šumarije Lipovljani. Magistarski rad, šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–136.
61. Krpan, A. P. B., 1989: Neke značajke sušenja hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) sa stanovišta eksploatacije šuma (Some characteristics of pedunculate oak /*Quercus robur* L./ dieback in terms of logging). Glasnik za šumske pokuse 25: 111–121.
62. Krpan, A. P. B., 1992: Iskorišćivanje šuma (Forest exploitation). Monografija »Šume u Hrvatskoj«, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i »Hrvatske šume« p.o. Zagreb, 153–170.
63. Krpan, A. P. B., Ivanović, Ž., Petreš, S., 1993a: Fizičke štete na tlu pri privlačenju drva. Šumarski list 117(1–2): 23 – 32.
64. Krpan, A. P. B., Ivanović, Ž., Petreš, S., 1993b: Neke fizičke štete u sastojini, posljedice i zaštita (Forest stand damage, effects and protection). Glasnik za šumske pokuse, Posebno izdanje 4: 271–279.

65. Krpan, A. P. B., Ivanović, Ž., 1995: Iznošenje trupaca hrasta lužnjaka žičarom STEYR KSK 16. Šumarski list 119(3): 75–90.
66. Krpan, A. P. B., 1996: Problem privlačenja drva u nizinskim šumama Hrvatske. Šumarski list 120(3-4): 151–156.
67. Krpan, A. P. B., 1997: Poredba djelotvornosti žičare STEYR KSK 16 na brdskom terenu i ravnici. Mehanizacija šumarstva 22(2): 83–93.
68. Krpan, A. P. B., 2000: Mogućnosti primjene vrhunskih tehnologija pri iskorištavanju šuma u Hrvatskoj. U: Zbornik, Znanstveni skup »Vrhunske tehnologije u uporabi šuma«, Zagreb, 11. travnja 2000., HAZU, Znanstveno vijeće za poljoprivredu i šumarstvo, Zagreb, 45–63.
69. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., 2001: Harvester Timberjack 1070 u Hrvatskoj, Šumarski list 125(11–12): 619–624.
70. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., 2002: Djelotvornost strojne sječe i izradbe u sastojinama mekih i tvrdih listača. Znanstvena studija, šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1 – 40.
71. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., 2002: Proizvodnost harvestera Timberjack 1070 pri proredi kulture običnoga bora. Šumarski list 126(11–12): 551–563.
72. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., 2004: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 1.dio: promišljanje struke o strojnoj sječi i izradbi drva. Šumarski list 128(3–4): 127–136.
73. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., 2004: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 2. dio: Djelotvornost harvestera u kulturi mekih listača. Šumarski list 128(5-6): 233–244.
74. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., Zečić, Ž., 2003: Studija o potrebnoj veličini zglobnog traktora (skidera) temeljem sastojinskih prilika glavnoga prihoda i primjene tehnologije. Znanstvena studija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–45.
75. Krpan, A. P. B., Poršinsky, T., Šušnjar, M., 2003: Timber extraction technologies in Croatian mountainous selection forests. Proceedings of Workshop »New Trends in Wood Harvesting with Cable Systems for Sustainable Forest Management in the Mountains«, Joint FAO/ECE/ILO&IUFRO, 18 – 24 June 2001, Ossiach (Austria), FAO, Rome, 161 – 168.
76. Kulaš, J., 1979: Štete na pomladku kod izvlačenja debala CLAM BUNK skiderom OSA 260. Mehanizacija šumarstva 4 (7-8): 219–222.

77. Kühmaier, M., Stampfer, K., 2010: Development of a MultiAttribute Spatial Decision Support System in Selecting Timber Harvesting Systems. Croatian Journal of Forest Engineering 32(2): 75–88.
78. KWF, 2008: Hochmechanisierte Holzernte in befahrbaren Handlagen mit Raupenkrannernter, Ruecken mit Hangschlepper. 15. KWF Tagung, Tagungsfuehrer, Schmallingenberg, June 2008.
79. Leijon, M., 2016: Forestry machines in 2050. Umeå Institute of design. Umeå University, Sweden.
80. Lukáč, T., Štollmann, V., Messingerová, V., 2001: Lanovky v lesníctve. Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR, Zvolen, 1 – 168.
81. MacDonald, A. J., 1999: Harvesting Systems and Equipment in British Columbia. FERIC, Handbook No. HB12, str. 1–197.
82. Martinić, I., 1987: Kojim putem u 21. stoljeće? Šumarski list 111 (10-12): 645–655.
83. Martinić, I., 2000: Koliko smo blizu ekološki prihvatljivoj uporabi mehanizacije u šumarstvu? Šumarski list 124(1-2): 3–13.
84. Mathworks, 2016: INCOVA Designs Intelligent Valve-Control System for a 20-Ton Excavator.
https://www.mathworks.com/company/user_stories/incova-designs-intelligent-valve-control-system-for-a-20-ton-excavator.html (pristupljeno 19.9.2020.)
85. Matic, S., 2009: Gospodarenje šumama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u promijenjenim stanišnim i strukturnim uvjetima. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Znanstveno vijeće za poljoprivredu i šumarstvo, Sekcija za šumarstvo, Centar za znanstveni rad u Vinkovcima, Zagreb, str. 1–22.
86. McLean, D., Visser, R. 2011: Roll Over Limits of Forestry Machines on Steep Terrain Unpublished report. Forest Engineering, School of Forestry, University of Canterbury, New Zealand. 13p.
87. Mellberg, A., 2013: Extension–Operator Environment for Forest Harvesters. Master thesis. School of Engineering, Jönköping, Sweden.
88. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske
<https://mzoe.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug-4925/zastita-prirode/zasticena-podrucja/1188> (pristupljeno 20.9.2020.)
89. Nežić, P., 1972: Kako prilagoditi korištenje etata prebornih šuma suvremenim sredstvima izvlačenja. Šumarski list 96 (9–10): 379–382.

90. Pandur, Z., Vusić, D., Papa, I., 2009: Dodatna oprema za povećanje proizvodnosti forvardera. *Nova mehanizacija šumarstva* 30(1): 19–25.
91. Pandur, Z., 2013: Primjena komercijalnog sustava za praćenje rada strojeva u istraživanju izvoženja drva forvarderom. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–312.
92. Pandur, Z., Poršinsky, T., Šušnjar, M., Zorić, M., Vusić, D., 2014: Gaženje tla pri izvoženju drva forvarderom u sječinama hrasta lužnjaka. *Nova mehanizacija šumarstva* 35 (1): 23–34.
93. Pandur, Z., Đuka, A., Šušnjar, M., Bačić, M., Ostović, K., Lepoglavec, K., 2018: Analiza gaženja tla prilikom strojne sječe, izrade i izvoženja drva u prorednoj sastojini listača. *Nova mehanizacija šumarstva* 39(1): 1–12.
94. Petreš, S., 2006: Oštećivanje ponika i pomlatka pri privitlavanju i privlačenju oblovine traktorom LKT 81 T iz dovršne sječine hrasta lužnjaka. *Šumarski list* 130 (3–4): 87–101.
95. Pičman, D., 2007: Šumske prometnice, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
96. Pičman, D., Pentek, T., Poršinsky, T., 2001: Relation between forest roads and extraction machines in sustainable forest management. *Proceedings of Workshop »New Trends in Wood Harvesting with Cable Systems for Sustainable Forest Management in the Mountains«*, Joint FAO/ECE/ILO & IUFRO, 18 – 24 June 2001, Ossiach (Austria), FAO, Rome, 185 – 191.
97. Pičman, D., Pentek, T., Poršinsky, T., 2003: Prilog istraživanju oštećivanja stabala mehanizacijom za gradnju šumskih putova (Contribution to Investigation of Tree Damaging by Forest Road Excavating Machines). *Strojarstvo* 45(4–6): 149–157.
98. Ponsse <https://www.ponsse.com/bison-active-frame#/> (pristupljeno 14.9.2020.)
99. Poršinsky, T., 1997: Određivanje položaja Kockumsa 850 i Timberjacka 1210 u obitelji forvardera morfološkom raščlambom, *Mehanizacija šumarstva*, 22 (3): 129–139.
100. Poršinsky, T., 2000: Čimbenici učinkovitosti forvardera Timberjack 1210 pri izvoženju oblog drva glavnog prihoda nizinskih šuma Hrvatske. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
101. Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–170.
102. Poršinsky, T., Ožura, M., 2005: Oštećivanje dubelih stabala pri izvoženju drva forvarderom. *Nova mehanizacija šumarstva*, 27(1): 41–49.

103. Poršinsky, T., 2008: Predavanja iz kolegija Pridobivanje drva I. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
104. Poršinsky, T., Krpan, A., P., B., Stankić, I., 2004: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 4. dio: Okolišna pogodnost strojne sječe u prirodnim sastojinama. Šumarski list 128 (11-12): 655–669.
105. Poršinsky, T., Stankić, I., 2005: Prilog poznavanju iznošenja drva šumskim žičarama. Nova mehanizacija šumarstva 26(1): 39–54.
106. Poršinsky, T., Stankić, I., Bosner, A., 2011: Djelotvorno i okolišno prihvatljivo izvoženje drva forvarderom temeljem analize nominalnog tlaka na podlogu. Croatian journal of forest engineering 32(1): 345–356.
107. Poršinsky, T., Šušnjar, M., Đuka, A., 2012: Određivanje faktora raspodjele mase tereta i privlačenja. Nova mehanizacija šumarstva 33 (1): 35–44.
108. Poršinsky, T., Moro, M., Đuka, A., 2016: Kutovi i polumjeri prohodnosti skidera s vitlom. Šumarski list 140 (5-6): 259–272.
109. Poršinsky, T., 2016: prezentacija „Iznošenje drva (šumske žičare, helikopter)“ u HKIŠDT
http://www.hkisdt.hr/podaci/2016/SU/prezentacije/zicara_komora_2.pdf (pristupljeno 5.9.2020.)
110. Požega, J., 2015: Razvoj sustava pridobivanja drva polu(deblovnom) metodom u hrvatskom šumarstvu. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
111. Prekrat, F., 2019. FSB Modeliranje i analiza hibridnog pogona šumskog zglobnog traktora. Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.
112. Pulkki, R., 1997: Cut-to-length, tree-length or full tree harvesting? Central Woodlands 1 (3): 22–27, 37.
113. Rebac, I., 1976: Komparativna analiza ekonomičnosti primjene raznih tipova mehanizacije u iskorištavanju šume. Šumarski list 100 (3–4): 157–166.
114. Rummer, B., 2002: Chapter 15: Forest Operations Technology. U: N. David Wear, John G. Greis (ur.), Southern forest resource assessment. Gen. Tech. Rep. SRS-53. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 341–353.
115. Sabo, A., 2000: Oštećivanje drveća pri privlačenju oblovine traktorom LKT 81 u gorskokotarskim prebornim sastojinama različite otvorenosti. Mehanizacija šumarstva 25(1–2): 9–27.

116. Sabo, A., 2003: Oštećivanje stabala pri privlačenju drva zglobnim traktorom Timberjack 240C u prebornim sastojinama. Šumarski list 127(7–8): 335–345.
117. Sabo, A., Poršinsky, T., 2005: Skidding of Fir Roundwood by Timberjack 240C from Selective Forests of Gorski Kotar. Croatian Journal of Forest Engineering 26 (1): 13–27.
118. Sebulke, J., 2011: Holzernte mit Traktionswinden. Forst & Technik (3): 20–26.
119. Slabak, S., 1978: Sajam šumske opreme »Elmia Logging 77« u Jönköpingu u Švedskoj. Šumarski list 102(8–10): 382–390.
120. Slabak, M., 1983: Forvarderi u svijetu i kod nas. Zbornik radova »Mehanizacija šumarstva u teoriji i praksi«, Opatija, 351–361.
121. Slabak, M., 1983: Tehnologija iveranja u svijetu i kod nas. Mehanizacija šumarstva 8 (7–8): 193–204.
122. Slabak, M., 1987: Rezultati primjene iverača u nizinskoj proredi. Korišćenje šumske biomase za energetiku. Mogućnosti proizvodnje i korišćenja u SFR Jugoslaviji, Jugoslovenski poljoprivredno šumarski centar – Služba šumske proizvodnje, Beograd, 229–238.
123. Slabak, M., 1987: Tehnologija iveranja u proredama nizinskih šuma. Mehanizacija šumarstva 12(1–2): 17–22.
124. Sladek, P., Neruda, J., 2007: Analysis of Volume Differences in Measuring Timber in Forestry and Wood Industry. In: Austro 2007/FORMEC'07: Meeting the Needs of Tomorrows' Forests – New Developments in Forest Engineering, October 7 – 11, 2007, Vienna and Heiligenkreuz – Austria, p. 1–11.
125. Sever, S., Horvat, D., 1985: Šumski zglobni traktor snage oko 60 kW. Studija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 1–187.
126. Sever, S., 1987: Žičare u SR Hrvatskoj – jučer, danas, sutra. Mehanizacija šumarstva 12(3–4): 37–42.
127. Sever, S., 1988: Proizvodnost i preformanse forvardera u radovima privlačenja drva. Mehanizacija šumarstva 18(5–6): 59–87.
128. Sever, S., 1990: Skidder traction factors. Journal of Forest Engineering, 1(2): 15–23.
129. Sever, S., 1992: Šumarski strojevi. Tehnička enciklopedija, 12, Leksikografski zavod »Miroslav Krleža«, Zagreb, str. 519–531.
130. Sever, S., 1993: Stanje i mogući razvoj mehanizacije u hrvatskom šumarstvu. Mehanizacija šumarstva, 18(1): 3–16.

131. Sever, S. Beljo-Lučić, R., 1996: Vrednovanje šumarskih strojeva – pomoć pri njihovom izboru i uporabi, Zaštita šuma i pridobivanje drva. Šumarski fakultet Zagreb; Šumarski institut Jastrebarsko, str. 309-322
132. Speidel, G., 1952: Das Stückmassegesetz und seine Bedeutung für den internationalen Leistungsvergleich bei der Forstarbeit. Dissertation. Universität Hamburg, 1–66.
133. Stankić, I., 2010: Višekriterijsko planiranje izvoženja drva forvarderima iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–123.
134. Sutherland, B., 2012. Review of tethered equipment for steep-slope operations. Internal Report IR-2012-08-20. FPInnovations, Vancouver, Canada. 11p.
135. Štefančić, A., 1989: Komparativno istraživanje proizvodnosti rada, troškova proizvodnje i oštećivanja stabala primjenom deblovne i sortimentne metode rada u proredi sastojina. Mehanizacija šumarstva 14 (5–6): 93–102.
136. Štimac, Z., 2017: Proizvodnost mehaniziranog sustava pridobivanja drva u šumskoj kulturi obične smreke (*Picea abies* /L./ Karsten) na području Gorskog kotara. Završni specijalistički rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–89.
137. Optimizacija sustava pridobivanja drva i šumske prometne infrastrukture na strateško-taktičkoj razini planiranja, 2016 – 2018., Dubravko Horvat / Dinko Vusić, naručitelj: Ministarstvo poljoprivrede Republike Hrvatske.
138. Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–146.
139. Šušnjar, M., Kristić, A., Jambrek, N., 2009: Osovinsko opterećenje traktorskih skupova. Nova mehanizacija šumarstva 30 (1): 1–10.
140. Šušnjar, M., Bosner, A., Poršinsky, T., 2010: Vučne značajke skidera pri privlačenju drva niz nagib. Nova mehanizacija šumarstva 31(1): 3–14.
141. Talbot, B., 2004: The influence of forest stand size and locality on the operational efficiency of mechanised forest operations. Proceedings of the International scientific conference »Forest Engineering: New Techniques, Technologies and the Environment«, IUFRO, The Ukraine Forestry Academy of Sciences (LANU), The Ukrainian Mountain Forestry Research Institute (UkrNDIGirlis), The State Forestry Management Association »Lvivlis«, The National Nature Park »Hutsulshchyna«, 5 – 10 October 2004, Lviv, Ukraine, 131 – 140.

142. Tiernan, D., Owende, P.M.O., Kanali, C. L., Spinelli, R., Lyons, J., Ward, S. M., 2002: Selection and Operation of Cable Systems on Sensitive Forest Sites. Project deliverable D2 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), 1 – 73.
143. Tomanić, S., 1998: Djelotvornost radnih metoda pri proredi šumskih sastojina. *Mehanizacija šumarstva* 23 (3–4): 117–127.
144. Tomašić, Ž., 2012: Razvoj tehnologije i tehničkih sredstava u pridobivanju drva s obzirom na posebnosti šuma i šumarstva u Republici Hrvatskoj. *Nova mehanizacija šumarstva*, 33(1): 53–67.
145. Tomičić, B., 1975: Traženje povoljnih načina manipulacije prostornim drvom. *Šumarski list* 99 (11–12): 408–421.
146. Tomičić, B., 1986: Razvoj mehanizacije, tehnologije i organizacije rada u iskorišćivanju šuma u Šumskom gospodarstvu »Mojica Birta« Bjelovar. *Šumarski list* 110 (1–2): 29–45.
147. Trzesniowski, A., 1998: Wood transport in steep terrain. Proceedings of the Seminar on »Environmentally sound forest roads and wood transport«, Joint FAO/ECE/ILO & IUFRO, 17 – 22 June 1996, Sinnaia, (Romania), FAO, Rome, 405 – 424.
148. Uusitalo, J., 2010: Introduction to Forest Operations and Technology. JVP Forest Systems Oy and Jori Uusitalo, Hameenlinna, 166-171.
149. Vondra, V., Bogojević, S., 1994: Prinos znanju o uporabi srednjeg skidera Ecotrac V organizacijskim i ekonomskim pokazateljima rada. *Mehanizacija šumarstva* 19 (4): 247–267.
150. Vusić, D., Rukavina, N., 2010: Utjecaj rašljivosti stabala crnoga bora na proizvodnost harvestera. *Nova mehanizacija šumarstva*, 31(1): 37–43.
151. Vusić, D., 2013: Pogodnost sustava pridobivanja drvne biomase u smrekovoj šumskoj kulturi. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–174.
152. Vusić, D., Šušnjar, M., Marchi, E., Spina, R., Zečić, Ž., Picchio, R., 2013: Skidding operations in thinning and shelterwood cut of mixed stands – Work productivity, energy inputs and emissions. *Ecological Engineering* 61: 216–223.
153. Wästerlund, I., 1994: Forest response to soil disturbance due to machine traffic. Interactive seminar and workshop »Soil, tree, machines interaction«, Feldafing, Germany, str. 1–23.

154. Wratschko, B. 2006: Einsatzmöglichkeiten von Seilforwardern. Masterarbeit, Institut für Forsttechnik, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna. 66p.
155. Zečić, Ž., Krpan, A. B. P., Stankić, B., 2004: Privlačenje oblovine traktorom Timberjack 240C u uvjetima Šumarije Velika Pisanica. Šumarski list 128 (11–12): 671–677.
156. Zečić, Ž., 2006: Usporedba djelotvornosti traktora Ecotrac 120 V pri privlačenju drva u brdskim i gorskim uvjetima. Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje 5: 557–572.
157. Zečić, Ž., Vusić, D., Prka, M., Klepac, S., 2010: Utjecaj nagiba traktorskog puta na proizvodnost traktora Timberjack 240C pri privlačenju drvnih sortimenata u prebornim šumama. Šumarski list 134 (3–4): 103–115.
158. Zečić, Ž., Vusić, D., Milković, D., Zorić, M., 2011: Usporedba proizvodnosti skidera s jednobubanjским i s dvobubanjским vitlom u prebornim šumama. Nova mehanizacija šumarstva 32 (1):15–22.
159. Zečić, Ž., Vusić, D., Nevečerel, H., Mikulin, M., 2011: Utjecaj obujma tovara na proizvodnost traktora Timberjack 240C pri privlačenju debala euroameričke topole u nizinskim šumama. Croatian Journal of Forest Engineering 32 (1), 357–368.
160. Zečić, Ž., 2013: Predavanja iz kolegija Pridobivanje drva II, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
161. Zečić, Ž., Benković, Z., Papa, I., Marenče, J., Vusić, D., 2019: Proizvodnost traktora Ecotrac 120V pri privlačenju drva u brdskom području središnje Hrvatske. Nova mehanizacija šumarstva 40(1): 1–10.
162. Zečić, Ž., Martinić, I., Vusić, D., Bakarić, M., Pečnjak, D., Landekić, M., 2019: Učinkovitost skidera Timberjack 240 C pri privlačenju drva u brdskim uvjetima primjenom sortimentne metode. Nova mehanizacija šumarstva 40(1): 19–29.
163. Žagar, K., 2004: Primjena šumske žičare Mini Urus u brdskom području parka prirode Papuk. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1 – 89.