



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU - ŠUMARSKI FAKULTET
ZAVOD ZA ŠUMARSKÉ TEHNIKE I TEHNOLOGIJE



Svetošimunska 25

10000 Zagreb

Projekt: Optimizacija sustava pridobivanja drva i šumske prometne infrastrukture na strateško-taktičkoj razini planiranja

Polugodišnje izvješće: 1. srpnja 2017. do 31. prosinca 2017.



Uvod

Za drugo polugodište 2017. godine planirane su u prethodnom polugodišnjem izvješću slijedeće glavne aktivnosti:

1. Kao najznačajnija i najzahtjevnija aktivnost navedena je priprema i provođenje glavnoga pokusa na pokusnim plohama u Bjelovarskoj Bilogori;
2. klasificiranje i priprema podataka mjerenja za obradu te njihova obrada;
3. kao i završetak prethodno započetih istraživanja;
4. te sudjelovanje na međunarodnim savjetovanjima.

1. Glavni pokus – GJ »Bjelovarska Bilogora«, odsjeci 14B i 14C – Primjene strojne sječe i izrade u proredi bjelogoričnih sastojina

Istraživanje mehaniziranog sustava pridobivanja drva sortimentnom metodom (harvestera za sječu i izradu, a forvardera za izvoženje izrađenih sortimenata) u proredi bjelogoričnih sastojina provedeno je na području UŠP Bjelovar, Šumarije Bjelovar u gospodarskoj jedinici »Bjelovarska Bilogora« - odsjecima 14 b i 14 c.

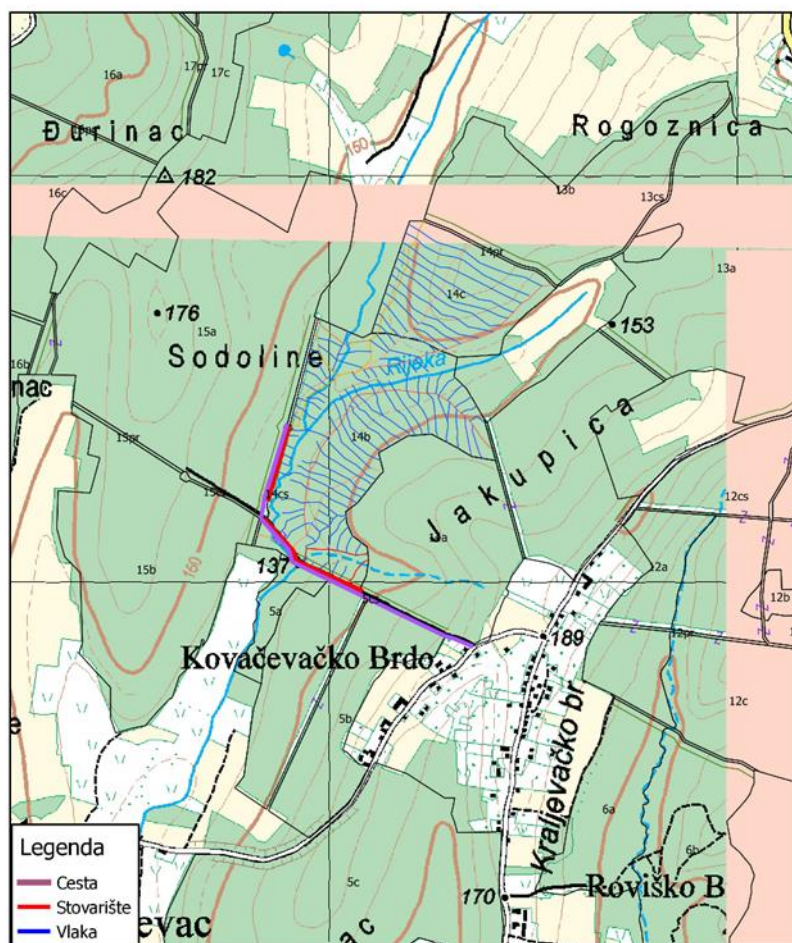
U izabranim odsjecima terenska istraživanja tijekom ljetnih mjeseci 2017. godine provedena su u cilju određivanja najvažnijih 5E pokazatelja (ekološki, ergonomske, energijski, estetski, ekonomski). Tijekom istraživanja korištene su standardne znanstvene metode, ali i testirani novi načini prikupljanja i obrade podataka.

1.1 Osnovni podaci o mjestu i materijalu istraživanja

Prema podacima osnove gospodarenja iz 2013. godine, odsjek 14 b je površine 18,28 ha, uređajnog razreda običnog graba starosti 79 godina na II bonitetu. Propisana ophodnja iznosi 70 godina. Odsjek se nalazi na nadmorskoj visini 100 m, nagiba 3–9 %, zapadne ekspozicije. Tlo je lesivirano i na njemu se razvila fitocenoza šume lužnjaka i običnog graba s bukvom. Sklop je potpun, a obrast iznosi 1,23. Drvna zaliha iznosi 291,58 m³/ha, odnosno 5330 m³ u odsjeku, od čega 18,16 m³/ha čini hrast lužnjak, 3,72 m³/ha hrast kitnjak, 17,34 m³/ha obična bukva, 243,71 m³/ha obični grab, 0,33 m³/ha OTB i 8,32 m³/ha crna joha. Broj stabala iznosi 784 po ha dok temeljnica iznosi 28,88 m²/ha. Srednje plošno stablo je promjera 21,60 cm, dok je godišnji tečajni prirast 7,49 m³/ha, odnosno 137 m³ u odsjeku. Prema propisu osnove gospodarenja za prvo polurazdoblje treba obaviti proredu intenzitetom 11,67 %, odnosno 34,03 m³/ha. Propisana je sječa 32 m³/ha običnog graba i 2,02 m³/ha obične bukve.

Odsjek 14 c je površine 9,07 ha, uređajnog razreda bukve starosti 79 godina na I bonitetu. Propisana ophodnja iznosi 100 godina. Odsjek 14 c se nalazi na nadmorskoj visini 150–175 m, prosječni nagib iznosi 3–9 %, a ekspozicija je jugo-zapadna. Tlo je lesivirano, a fitocenu predstavlja submontanska bukova šuma s trepavičastim šašem. Sklop je potpun, dok obrast iznosi 1,06. Drvna zaliha iznosi 405,84 m³/ha, odnosno 3681 m³ u odsjeku, od toga hrasta lužnjaka 7,94 m³/ha, hrasta kitnjaka 16,54 m³/ha, obične bukve 201,76 m³/ha i običnog graba 179,60 m³/ha. Broj stabala je 540 po ha, a temeljnica iznosi 30,98 m². Srednje plošno stablo je promjera 30,98 cm, dok je godišnji tečajni prirast 9,70 m³/ha odnosno 88 m³ u odsjeku. Prema propisu osnove gospodarenja za prvo polurazdoblje treba obaviti proredu intenzitetom 11,08 %, odnosno 44,98 m³/ha; od toga obične bukve 19,96 m³/ha, a običnog graba 25,03 m³/ha.

Pripremni su radovi provedeni tijekom ljeta i jeseni 2016. godine, a uključivali su obilježavanje vlaka u sječini, nužnih za nesmetan rad harvestera i forvardera. S obzirom na nužnost doznake pojedinih stabala na trasama vlaka bilo je nužno obaviti i korekciju doznake stabala (v. Polugodišnje izvješće: lipanj 2016. do prosinac 2016.) s ciljem omogućivanja kretnosti strojeva i dohvata stabala harvesterskom glavom (»harvesterske pruge« odgovarajućeg razmaka i prostornog rasporeda – slika 1).



Slika 1. Šumska prometna infrastruktura mjesta istraživanja

Sječa staba i izrada drvnih sortimenata obavljena je jednozahvatnim harvesterom Timberjack 1470D, a izvoženje izrađenih drvnih sortimenata obavljeno je forvarderom Timberjack 1710D.

Jednozahvatni harvester Timberjack 1470D šesterokotačno je vozilo (6 WD) s bogi sustavom na prednjoj osovini, njegova namjena je kretanje po bespuću te sječa i izrada drvnih sortimenata. Predstavnik je kategorije velikih harvestera širokog raspona primjene. Duljina harvestera Timberjack 1470D iznosi 7700 mm, visina mu je 3830 mm. Širina harvestera iznosi 3000 mm, dok mu je masa 18.800 kg. Timberjack 1470D pokreće motor John Deere JD6081 HTJ 04, 6-cilindrični, turbo diesel motor sa prednabijanjem. Maksimalna snaga motora je 180 kW pri brzini vrtnje od 1200–2000 min⁻¹. Maksimalni zakretni moment je 1250 Nm pri brzini vrtnje motora od 1400 min⁻¹. Transmisija je kod istraživanog harvestera hidrostatsko-mehanička sa sporim i brzim hodom koji omogućuje promjenu brzine kretanja vozila bez prekida toka snage prema kotačima. Najveća obodna sila na kotaču vozila je 190 kN, brzina kretanja po bespuću 7 km/ha, a putna brzina iznosi 24 km/h. Prednje gume su dimenzija 650x26,5, a stražnje 700x34. Harvester Timberjack 1470D koristi paralelnu hidrauličku dizalicu model TJ 200 H 97 na kojoj je ugrađena sječna glava. Deklarirani podizni moment je 178 kNm, a zakretni moment je 43,6 kNm. Doseg dizalice iznosi 10 m, dok je kut zakretanja 220°. Kontrola sustava kod harvestera Timberjack 1470D (Total Machine Control) upravlja pogonskim motorom, transmisijom, radom dizalice i stabilnošću vozila. Računalni sustav (Timberjack 300) kontrolira rad sječne glave, izmjeru drvnih sortimenata, trupljenje debala (izradu sortimenata zadanih dimenzija) te pohranjivanje podataka

o izrađenoj oblovinu koji se mogu ispisati ili pohraniti na računalo. Kabina je lagana, komforna i pregledna i izrađena u skladu s propisanim međunarodnim normama ISO (ROPS, FOPS). Harvester Timberjack 1470D je opremljen sječnom glavom Timberjack 758. Najveći sječni promjer iznosi 65 cm. Masa sječne glave s rotatorom iznosi 1080 kg. Posmak stabla kroz sječnu glavu ostvaruju četiri čelična valjka, sa silom u rasponu od 22 do 27 kN, uz posmičnu brzinu 0–4,7 m/s. Kresanje grana obavljaju tri pokretna te jedan fiksni nož. Vodilica lančane pile je dugačka 75 cm, a brzina kretanja lanca iznosi 40 m/s.



Slika 2. Harvester Timberjack 1470D



Slika 3. Sječna glava Timberjack 758

Forvarder Timberjack 1710D, osmerokotačno je vozilo (8 WD) s bogi sustavom na prednjoj i stražnjoj osovini. Ovaj tip forvardera pripada kategoriji teških forvardera, mase preko 14 tona. Njegova namjena je prvenstveno izvoženje drva prilikom čistih sječa (u kulturama četinjača) te za izvoženje drva prilikom oplodnih sječa (u sastojinama listača). Iako njegova primjena u prorednim sječama nije isključujuća, prilikom izvoženja drva iz prorednih sječina ograničavajući čimbenik su prvenstveno njegove dimenzije. Duljina Timberjacka 1710D je 10.900 mm, dok je njegova širina 3050 mm. Visina forvardera do vrha dizalice je 3900 mm, a njegova masa ovisi o stupnju opremljenosti i može iznositi od 18.500 do 19.500 kg. Timberjack 1710D pokreće pogonski agregat John Deere 6081H, 6-cilindrični, turbo diesel motor snage 160 kW (215 KS) pri brzini vrtnje od 2100 min⁻¹. Maksimalni zakretni moment iznosi 1090 Nm pri brzini vrtnje od 1400 min⁻¹. Transmisija forvardera Timberjack 1710D je hidrostatsko-mehanička sa po dvije brzine naprijed i nazad, a najveća putna brzina je 23 km/h, dok najveća obodna sila na kotačima iznosi 200 kN. Dimenzije prednjih i stražnjih guma su identične i iznose 750x26,5. Timberjack 1710D je opremljen hidrauličnom dizalicom Boom CF885 na kojoj se nalazi hvatalo. Maksimalni dohvat dizalice je 8500 mm. Deklarirani podizni moment je 151 kNm, dok je zakretni moment 41 kNm. Nosivost forvardera iznosi 17.000 kg.



Slika 4. Forvarder Timberjack 1710D



Slika 5. Izvoženje drvnih sortimenata

Sječa stabala se izvodila na način da se harvesterom glavom obuhvatilo deblo dubjećeg stabla (što je moguće bliže razini tla) nakon toga se izvodilo potpiljivanje te usmjereno rušenje stabla. Nakon sječe slijedi izrada oborenog stabla, i to na način da se tehnička oblovina izrađivala sukladno normama propisanim dimenzijama, odnosno duljine su bile određene razredima kakvoće. Višemetarsko prostorno drvo je izrađivano na standardne duljine od 4 m. Izrađene drvene sortimente harvester je slagao pored »harvesterske pruge« sa koje je obavljao sječu i izradu, dok je ostatak neizrađene krošnje (sitnu granjevinu odlagao pod kotače.

Izvoženje forvarderom odvijalo se po prethodno obilježenim postojećim vlakama te »harvesterskim prugama«. Tehnička oblovina i višemetarsko prostorno drvo odvajani su prilikom utovara u odvojene toware/turnuse.



Slika 6. Tovar višemetarskog prostornog drva



Slika 7. Tovar tehničke oblovine

Za pomoćno stovarište korištena je šumska cesta na kraju koje je bila okretnica koja je služila za okretanje kamiona koji su odvozili drvo s pomoćnog stovarišta, ali je također služila kao i mjesto za parkiranje strojeva na kraju radnog dana. Drvni sortimenti odlagani su s obje strane pomoćnog stovarišta, i to višemetarsko prostorno drvo s jedne strane, a tehnička oblovina (furnirski i pilanski trupci) s druge strane. Osim odvajanja drva na višemetarsko prostorno drvo i tehničku oblovinu na pomoćnom stovarištu nije vršeno dodatno odvajanje drva npr. prema vrstama drveća. Pomoćno stovarište se protezalo na duljini od 120 m iz razloga što se primanje drvnih sortimenata također odvijalo na pomoćnom stovarištu te je tehnička oblovina bila razvučena s jedne strane pomoćnog stovarišta i na taj način je poslovođi bila olakšana izmjera tehničke oblovine te njeno zaprimanje. Višemetarsko prostorno drvo je za razliku od tehničke oblovine bilo uhrpano te je na taj način prostor pomoćnog stovarišta bio najbolje iskorišten. Otprema drvnih sortimenata vršila se gotovo svakodnevno, osobito višemetarskog prostornog drva koje je voženo kamionskim skupovima, ali i traktorom s poluprikolicom opremljenom dizalicom. Zadnjega dana snimanja formirano je novo pomoćno stovarište u duljini od 30 m, također uz šumsku cestu, radi smanjenja udaljenosti izvoženja drvnih sortimenata iz 14 b odsjeka.

1.2 Metode istraživanja

1.2.1 Ekonomski pokazatelji

Proizvodnost skupnoga rada harvestera i forvardera u istraživanim sječinama istraživana je metodama studija rada i vremena. Studij rada kao znanstvena osnova organizacije rada i

organizacije proizvodnje polazi od čovjeka i njegova rada te analize čovjek – radno mjesto – radna okolina. Zadatak je studija rada da znanstvenim metodama te logičkim, cjelovitim i sustavnim analizama dođe do optimalno oblikovanog načina rada te realnog vremena izrade, odnosno objektivno izračunane norme (Taboršak 1987). Studijem vremena utvrđuje se tehnička norma vremena, odnosno vrijeme koje je potrebno za izradu proizvoda u cjelini kao i za pojedine faze izrade. Istraživanjem se utvrđuje realno potrebno vrijeme izrade koje služi za izračunavanje norme čiji je cilj organizacijski i humano optimalno oblikovati rad.

Za usporedbu pogodnosti uporabe nekog sredstva rada u različitim eksploatacijskim uvjetima ili pri obavljanju rada različitim metodama u sličnim eksploatacijskim uvjetima dovoljno je usporediti proizvodnost rada, iskazanu u jednakim jedinicama. No, za usporedbu pogodnosti uporabe različitih sredstava rada u istim eksploatacijskim uvjetima nužno je osim proizvodnosti poznavati i odnosne troškove rada. Za jedinicu mjere koristi se jedinični trošak rada iskazan po jedinici proizvoda, a računa se kao količnik troška rada iskazanoga po jedinici vremena i proizvodnosti rada iskazane po istoj jedinici vremena (najčešće osmosatni radni dan ili radni sat). Za komparativne troškovne analize u pridobivanju drva najbolje je koristiti direktni trošak strojnoga rada (eng. machine rate), koji se sastoji od fiksnih i varijabilnih troškova stroja te troškova radnika.

Snimanje utroška vremena pojedinih radnih zahvata obavljeno je upotrebom tableta Alcatel plus 10 s instaliranim softverskim paketom za provođenje studija rada i vremena, komercijalnog naziva UmtPlus proizvođača Laubress. Softver UmtPlus je i prije korišten pri snimanju utroška vremena radnih zahvata različitih strojeva koji se koriste u šumarstvu (Mudri 2012, Sever 2013).

Sever (2013) kao osnovne prednosti korištenja softvera UmtPlus prilikom snimanja utroška vremena pojedinih radnih zahvata navodi manju mogućnost pogreške prilikom mjerenja te pojednostavljeno bilježenje podataka. Podaci se ne moraju bilježiti na snimačkom listu i kasnije ručno unositi u program za obradu rezultata, već se oni automatski spremaju u memoriju računala. Snimljene podatke je zatim moguće prebaciti na osobno računalo pomoću softvera UMT Manager iz kojeg ih je moguće brzo i jednostavno eksportirati u Microsoft Excel radi daljnje obrade. Upravo su pozitivna iskustva i prednosti korištenja softvera UmtPlus, naspram u prošlosti korištene povratne metode kronometrije i snimanja utroška vremena pojedinog radnog zahvata kronometrom bili razlog korištenja softvera UmtPlus prilikom provedbe istraživanja.

U oba odsjeka istraživanju su prethodili detaljni pripremni radovi. Prije snimanja radnog procesa harvesteru bilo je potrebno obilježiti doznačena stabla za sječu i to na način, da su stabla koja su služila kao uzorak za utvrđivanje izrađenog neto obujma bila obilježena rednim brojevima, koji su na stabla bili napisani s dvije nasuprotne strane, a njihov prsni promjer je bio evidentiran na terenski obrazac poradi daljnje obrade podataka. Obilježavanje stabala korištenih samo za izračun proizvodnosti obavljeno je na način da je za svako stablo izmjeren prsni promjer te napisan na stablo, također obavezno s dvije nasuprotne strane, kako bi bio vidljiv bez obzira s koje strane harvester prilazi stablu. Pri snimanju forvardera pripremni radovi su obuhvaćali izmjeru i obilježavanje duljina vlaka. Duljina je bila izmjerena mjernom vrpcom duljine 50 m, te je na svakih 50 m na najbliže nedoznačeno stablo ljepljivom trakom i sprejom obilježena udaljenost segmenata vlake rastućih po 50 m.

Za osnovnu jedinicu praćenja radnoga procesa odabrano je kod sječe i izrade stablo, a kod primarnoga transporta turnus izvoženja (Vusić 2013). Učinkovitost strojne sječe i izrade harvesterom utvrđena je naknadnom analizom radnog procesa (po stablima poznatog prsnog promjera) koji je snimljen digitalnom kamerom. Pri snimanju harvesteru korištena je digitalna kamera postavljena na kabinu harvesteru. Ovakav način snimanja odabran je iz razloga što je opasno i propisima zaštite na radu zabranjeno biti u blizini harvesteru prilikom njegova rada, a što je neophodno da bi se na direktan način evidentirali utrošci vremena za pojedine radne zahvata. Također istraživani je harvester bio jednozahvatni te kod njega pojedini radni zahvati traju vrlo kratko i iziskuju veliku koncentraciju osobe koja snima te njegove brze reflekse. Kako bi se utvrdio utrošak vremena pojedinog radnog zahvata, snimljene je video zapise bilo potrebno analizirati pomoću softvera UmtPlus, u kojemu su prethodno bili definirani radni zahvati

harvestera. Svaki radni zahvat ima svoj početak i kraj. Početak jednog radnog zahvata ujedno je završetak prethodnog radnog zahvata, a taj trenutak u kojemu dolazi do promjene radnog zahvata nazivamo fiksna točka. Fiksne točke moraju biti definirane prije početka snimanja, kako bi bilo moguće prepoznati kada počinje novi, a završava prethodni radni zahvat, odnosno prekid rada. Prilikom snimanja utvrđeni su sljedeći radni zahvati harvestera koji su obuhvaćali efektivni rad harvestera:

- **Vožnja do sječine:** odvija se prilikom ulaska harvestera u sječinu. Obuhvaća vrijeme od kada je harvester krenuo s pomoćnog stovarišta, pa do zauzimanja položaja za sječu prvog stabla tog radnog dana.
- **Vožnja do pomoćnog stovarišta:** odvija se prilikom izlaska iz sječine, odnosno obuhvaća vrijeme od sječe i izrade posljednjeg stabla tog radnog dana pa do dolaska na pomoćno stovarište.
- **Premještanje harvestera:** predstavlja radni zahvat za vrijeme kojega se harvester kreće od prethodno posječenog i izrađenog stabla ka slijedećem stablu. Započinje nakon izrade krošnje prethodnog stabla i traje do početka zauzimanja položaja za sječu slijedećeg stabla.
- **Zauzimanje položaja:** nastupa nakon što je harvester završio s premještanjem i traje dok harvesterska glava ne obuhvati doznačeno stablo.
- **Sječa:** je radni zahvat za vrijeme kojega se odvija potpiljivanje debla te pad stabla na tlo. Početak radnog zahvata je nakon što je stablo obuhvaćeno harvesterskom glavom i traje do pada stabla na tlo ili do zaustave ukoliko se stablo prilikom pada naslonilo na okolna stabla.
- **Pomicanje:** radni je zahvat za vrijeme kojega operater hidrauličnom dizalicom zaustavljeno stablo povlači na tlo. Traje nakon sječe, pa sve dok stablo ne padne na tlo.
- **Izrada:** obuhvaća izradu debla i krošnje.
- **Izrada debla:** radni zahvat koji obuhvaća trupljenje debla. Započinje nakon pada stabla na tlo pa do izrade krošnje, odnosno pomicanja harvesterske glave do prve žive grane na stablu ili do rašlji.
- **Izrada krošnje:** je radni zahvat za vrijeme kojega se vrši kresanje grana i trupljenje preostalog drva koje se može izraditi iz krošnje. Započinje nakon trupljenja debla i traje do kraja izrade stabla.
- **Uhrpavanje:** pojavljuje se povremeno i najčešće nastupa nakon izrade krošnje, a podrazumijeva uhrpavanje izrađenih sortimenata ili sitne granjevine koja ostaje nakon izrade.



Slika 8. Istraživanje proizvodnosti harvestera

A	B	C
Voznja do S		Sjeca
Pre mjestanj	Uhrpavan	Izrada do krosn
Zauziman položaja	POVREMEN RAD	Izrada krosnje
Voznja do PS	PREKID	Pomicanj

A	B	C
PZV	O_TEH	N_TEH
OBJED	O_ORG	N_ORG
ODMOR	ISTRAZIV NJE	LANAC

Slika 9. Sučelje softvera UmtPlus za analizu snimaka rada harvester (lijevo – radni zahvati; desno – prekidi)

Za stabla poznatih prsnih promjera koja su služila kao uzorak, neto obujam je izmjeren i evidentiran sukladno »Hrvatskim normama proizvoda iskorištavanja šuma« (HRN). Na uzorku stabala u oba odsjeka uspoređena je točnost mjerenja i evidencije izrađenih drvnih sortimenata računalnim sustavom harvester te stupanj dorade sortimenata prilikom izrade.



Slika 10. Izmjera izrađenih sortimenata i određivanje stupnja dorade

Učinkovitost izvoženja oblog drva forvarderom praćena je terenskim računalom s pripadajućim računalnim algoritmom konstruiranim pomoću UmtPlus programskog paketa. Snimanje utrošaka vremena pojedinih radnih zahvata forvardera obavljeno je neposredno na terenu, sa sigurne udaljenosti i uz korištenje zaštitne opreme (zaštitna kaciga i reflektirajući prsluk) kako bi snimatelj bio uočljiv operateru forvardera. Pri snimanju korišten je terensko računalo s prethodno instaliranim softverom UmtPlus.

Prije snimanja definirane su fiksne točke, odnosno pojedini radni zahvati:

- **Vožnja neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu:** ovaj radni zahvat odvija se na pomoćnom stovarištu, odnosno na izgrađenoj šumskoj cesti uz koju je formirano pomoćno stovarište. Početak vožnje je nakon istovara posljednjeg sortimenta iz tovara i traje do ulaska forvardera u sječinu.
- **Vožnja neopterećenog forvardera po sječini:** započinje nakon ulaska forvardera u sječinu, a završava zaustavljanjem vozila na mjestu utovara drvnih sortimenata.
- **Utovar:** nakon zaustavljanja vozila započinje utovar drvnih sortimenata, koji traje dok se ne napuni tovarni prostor forvardera ili dok se ne utovare svi sortimenti u dohvat hidraulične dizalice.

- **Pomicanje po sječini:** radni zahvat koji predstavlja premještanje forvardera do slijedećeg složaja drvnih sortimenata. Odvija se nakon utovara svih sortimenata u dohvat hidraulične dizalice pa do premještanja do slijedećeg složaja drvnih sortimenata.
- **Vožnja opterećenog forvardera po sječini:** radni zahvat koji započinje nakon što se napunio tovarni prostor forvardera i obuhvaća vožnju po sječini do pomoćnog stovarišta.
- **Vožnja opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu:** dolaskom prednjih kotača forvardera na pomoćno stovarište započinje ovaj radni zahvat, a završava dolaskom do mjesta istovara, odnosno početkom istovara.
- **Istovar:** istovar drvnih sortimenata započinje nakon zaustavljanja forvardera na pomoćnom stovarištu i traje sve dok se ne istovari posljednji sortiment u tovaru.
- **Pomicanje po pomoćnom stovarištu:** pomicanje forvardera po pomoćnom stovarištu se odvija ukoliko se cijeli tovar ne istovaruje na jedno mjesto, već se forvarder pomiče kako bi istovarao ostatak tovara. Ovaj radni zahvat je izražen kod istovara tehničke oblovine koja se razvlači po pomoćnom stovarištu. Počinje početkom pomicanja forvardera i traje ponovnog početka istovara.
- **Uhrpavanje/razvrstavanje:** radni zahvat koji se ne pojavljuje redovno, a podrazumijeva uhrpavanje sortimenata na pomoćnom stovarištu ili razdvajanje tehničke oblovine i višemetarskog prostornog drva, ako se nalaze na istom složaju u sječini.



Slika 11. Istraživanje proizvodnosti forvardera

A	B	C
Voznja do S		Sjeca
Pre mjestanj	Uhrpavan	Izrada do krosn
Zauziman položaja	POVREMEN RAD	Izrada krosnje
Voznja do PS	PREKID	Pomicanj

A	B	C
PZV	O_TEH	N_TEH
OBJED	O_ORG	N_ORG
ODMOR	ISTRAZIV NJE	LANAC

Slika 12. Sučelje softvera UmtPlus za snimanje rada forvardera (lijevo – radni zahvati; desno – prekidi)

Trajanje je pojedinih radnih zahvata analizirano je matematičko-statističkim metodama u ovisnosti o glavnim utjecajnim čimbenicima s ciljem konstruiranja matematičkih modela za izračun proizvodnosti harvester, odnosno forvardera.

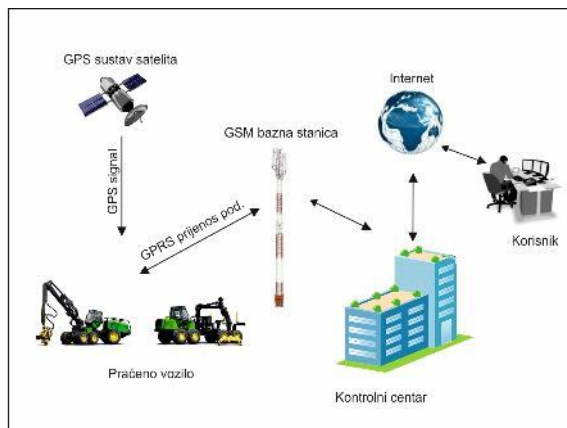
1.2.2 Energijski pokazatelji

Istraživani harvester i forvarder bili su opremljeni mobilnom jedinicom MOBILISIS WiGo W130C za daljinsko praćenje rada vozila. FMS se sastoji od hardverskih i softverskih komponenti koje omogućuju dvosmjernu komunikaciju između vozača i korisničkog (logističkog) centra. Osnovne komponente FMS-a prikazane su na slici 14. Na osnovu podataka koje prikuplja mobilna jedinica te koji se spremaju na server, korisnik (vlasnik vozila/voznog parka) može donositi odluke o izboru optimalne rute za prijevoz drva, može kontinuirano pratiti rad vozila, izdavati digitalne radne naloge. Osnovna komponenta svakog FMS sustava je mobilna jedinica koja, osim za određivanje položaja vozila, ima mogućnost preko različitih senzora prikupljati i slati krajnjem korisniku različite podatke o radu vozila. U kabinu je dodatno ugrađen tablet uređaj sa svrhom mjerenja vibracija koje se javljaju na stroju prilikom njegova rada.

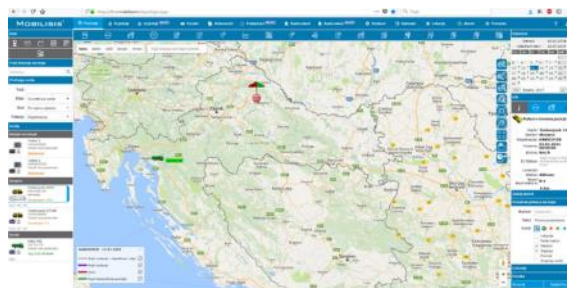


Slika 13. Ugradnja mjernih uređaja

Svi podaci koji se prikupljaju pomoću mobilne jedinice i dodatnih senzora se putem GSM (GPRS) prijenosa podataka šalju i spremaju na server. Na osnovu prikupljenih podataka formiraju se izvještaji do kojih korisnik dolazi preko računalnog sučelja (slika 15). Za računalno sučelje nije potrebna instalacija, svi podaci su vidljivi na web stranici s koje je omogućen pristup standardnim izvještajima o praćenju vozila, administracija lokacija / vozača / korisnika, izvještaji potrošnje goriva, izvještaji putanja, putni računi, greške itd. Svi podaci su zaštićeni lozinkom. Izvještaji krajnjem korisniku služe kao osnova za analizu učinaka, potrošnje goriva te kretanja vozila. Ukoliko se vozilo koje se prati ne nalazi u području GSM signala podaci se spremaju u internu memoriju mobilne jedinice, te se prilikom ulaska vozila u područje GSM signala šalju na server. Korištenjem FMS sustava korisnik ima mogućnost praćenja vozila u realnom vremenu.



Slika 14. Osnovne komponente sustava za daljinsko praćenje vozila (FMS-a)



Slika 15. Mobilisis korisničko web sučelje

Za mjerenje razine goriva u spremniku korištena je sonda LLS-20160, koja služi za određivanje potrošnje goriva. To je kapacitivni senzor bez pokretnih dijelova. Ima digitalni izlaz (RS485 sučelje). Elektroničke komponente senzora su uronjene u elastično kućište koje osigurava maksimalnu zaštitu za okolinu (IP66). Ima robusno aluminijsko kućište. Senzor je prilagodljiv na visinu spremnika, odnosno može biti odrezan na bilo koju dužinu sa automatskom kalibracijom.

U svrhu ovog istraživanja pomoću sustava daljinskog praćenja sa istraživanih strojeva korišteni su podaci o potrošnji goriva, njihova pozicija, odnosno putanja kretanja po sječini, rad hidraulične pumpe i aktivnost hidraulične dizalice. Svi navedeni parametri generiraju se iz baze podataka preko web aplikacije u tabličnom prikazu (MS Excel) gdje su svi parametri tablično prikazani u ovisnosti o vremenskoj bazi.

1.2.3 Ergonomski pokazatelji

Ocjena fizičkog opterećenja rada operatera harvesteri i šumskog radnika sjekača provedena je pomoću »ErgoFellow 3.0« softvera. U okviru navedenog softvera primijenjena su dva ergonomska alata: OWAS (engl. *Ovako Working Posture Analysing System*) i REBA (engl. *Rapid Entire Body Assessment*). OWAS metoda omogućuje procjenu stupnja statičkog opterećenja radnika na radnom mjestu analizirajući njihovo držanje, identificirajući četiri radna položaja za leđa, tri za ruke, sedam za noge i tri kategorije za težinu predmetnog tereta (Schilden 1989). Svaki od navedenih čimbenika ima atributnu vrijednost koda. Tehnika klasificira kombinacije navedene četiri kategorije prema stupnju njihovog utjecaja na mišićno-skeletni sustav za sve kombinacije položaja tijela radnika. Prema OWAS metodi, stupnjevi procjene štetnosti postojećih kombinacija držanja i opterećenja grupirani su u četiri kategorije djelovanja koje ukazuju na hitnost intervencije na radnom mjestu (Mattila i Vilkki 2003, Kee i Karwowski 2007).

- **Kategorija djelovanja 1:** normalni i prirodni položaji bez štetnog djelovanja na mišićno-skeletni sustav - nisu potrebne mjere;
- **Kategorija djelovanja 2:** blago štetna držanja - korektivne mjere potrebne u skoroj budućnosti;
- **Kategorija djelovanja 3:** primjetno štetno držanje - moraju se poduzeti korektivne mjere što je prije moguće;
- **Kategorija djelovanja 4:** izuzetno štetno držanje - odmah je potrebno poduzeti korektivne mjere za poboljšanje.

REBA metoda je posturalna sustavna analiza osjetljiva na mišićno-skeletne rizik kod različite vrste radnih zahvata, posebno za procjenu radnih položaja koji se nalaze u zdravstvenoj te drugim uslužnim djelatnostima (Hignett i McAtamney 2000). Osnovna ideja REBA metode je da se procijeni položaj pojedinih segmenata tijela, a rezultati položaja tijela radnika se povećavaju kad zabilježeni položaj segmenta tijela odstupa od neutralnog položaja. Sustav klasifikacije držanja temelji se na dijagramu dijelova tijela, a uključuje gornji dio ruke, donji dio ruke, zglobov, trup te vrat i noge. Skupina A uključuje trup, vrat i noge, dok skupina B uključuje gornje i donje ruke i zapešća. Navedene skupine se kombiniraju u jednu od 144 moguće kombinacije držanja koje se pretvaraju u jedinstveni kod položaja tijela (Takala i sur. 2010). Metoda odražava opseg vanjskih opterećenja, mišićne aktivnosti uzrokovane statičkim, dinamičkim, brzim promjenama ili nestabilnim položajima, te efekt spajanja istih. Dobiveni rezultati su sažeti kako bi dobili jedan rezultat za svako promatranje (Takala i sur. 2010). Navedena metoda pruža pet kategorija djelovanja za procjenu razine korektivnih aktivnosti.

- **Kategorija djelovanja 0:** korektivna akcija, uključujući daljnju procjenu, nije potrebna;
- **Kategorija djelovanja 1:** korektivna akcija, uključujući daljnju procjenu, može biti potrebna;

- **Kategorija djelovanja 2:** korektivna akcija, uključujući daljnju procjenu, potrebna u skoroj budućnosti;
- **Kategorija djelovanja 3:** korektivna akcija, uključujući daljnju procjenu, potrebna što je prije moguće;
- **Kategorija djelovanja 4:** korektivna akcija, uključujući daljnju procjenu, potrebna je odmah.

OWAS metoda klasificira opterećenje položaja tijela za hitnost korektivnih akcija u četiri kategorije djelovanja. Dok REBA metoda grupe opterećenja položaja tijela svrstava u pet akcijskih kategorija, koje imaju malo drugačije značenje od kategorija djelovanja u okviru OWAS metode. Da bi se omogućila usporedba REBA i OWAS metode, razine rizika REBA metode prema Kee i Karwowskom (2007) regrupirane su na četiri razine uzimajući u obzir značenje kategorija djelovanja za obje tehnike.

Tablica 1. Regrupirani stupnjevi rizika za REBA metodu

Regrupirana kategorija djelovanja	Originalna kategorija djelovanja	Značenje
1	0	Normalan položaj
2	1 i 2	Nisko rizičan položaj
3	3	Srednje rizičan položaj
4	4	Visoko rizičan položaj

Detalji terenskog istraživanja tj. rada operatera harvesteri i motorne pile lančanice zabilježeni su pomoću video kamere. Kod terenskog rada operatera harvesteri snimljeno je 9 h i 29 minuta efektivnog vremena strojne sječe i izrade drva, dok je kod terenskog rada šumskog radnika sjekača snimljeno 45 minuta efektivnog vremena ručno-strojne sječe i izrade drva. Položaji tijela izdvojeni su iz radnih snimaka snimljenih video kamerom sukladno metodi trenutačnih opažanja. Kod strojne sječe i izrade s harvesterom definirani interval opažanja iznosi 6 min, što ukupno čini 88 uzorkovanih radnih položaja tijela operatera tijekom efektivnog rada. S druge strane, kod ručno-strojne sječe i izrade drva definirani interval opažanja iznosi 0,5 min, što ukupno čini 87 uzorkovanih radnih položaja tijela šumskog radnika sjekača. Svi uzorkovani položaji tijela ocijenjeni su pomoću »ErgoFellow 3.0« softvera kroz dvije navedene tehnike promatranja: OWAS i REBA metode, što u konačnici rezultira s dva položajna opterećenja tijela operatera po svakoj primijenjenoj tehnologiji rada.

Ergonomski aspekt istraživanja obuhvaćao je utvrđivanje energetske opterećenja šumskih radnika putem mjerenja frekvencije pulsa tijekom radnoga dana. Za procjenu energetske opterećenja šumskih radnika, odnosno za utvrđivanje njihove energetske potrošnje pri radu uobičajeno se koriste metode zasnovane na mjerenju pulsa (Vondra 1995, Martinić 1996). Zbog svoje praktičnosti i jednostavnog terenskog mjerenja one su vrlo prikladne za istraživanja u šumarstvu. Mogućnosti i opravdanost primjene metode počiva na vezi između frekvencije pulsa i energetske potrebe koju je nužno zadovoljiti pri dinamičkom radu. Svaka intenzivna aktivnost i psiho-fizičko opterećenje koje izaziva šumski rad dovodi do povećanja energetske potrebe radnikova organizma. Narasla energetska potreba se zadovoljava pojačanim radom srca, tj. povećanim udarnim obujmom srca (količina krvi koja se izbacuje u krvotok pri svakoj kontrakciji) i povećanom frekvencijom pulsa (broj kontrakcija/otkucaja srca u jedinici vremena, obično jedna minuta). Na taj se način u organizmu s krvi dostavlja veća količina hranjivih tvari i kisika potrebnoga za oslobađanje energije neophodne za obavljanje rada, tj. zadovoljavanje nastale energetske potrebe. Navedenim, s porastom energetske potrebe raste i rad srca, odnosno frekvencija pulsa.

Na temelju izmjerene frekvencije pulsa pri pojedinoj vrsti rada, moguće je prema priznatim klasifikacijama (Ronay 1975, Kaminsky 1971) razvrstati određene vrste radova po kategorijama težine, odnosno opterećenja koje izazivaju.

Tablica 2. Kategorizacija opterećenja pri šumskom radu

Ronay (1975)		Kaminsky (1971)	
OPTEREĆENOST	Frekvencija srca, min ⁻¹	TEŽINA RADA	Energ. potrošnja, MJ/8 h
Bez opterećenja	oko 70		
Mala	75 - 95	Laki rad	1,23 - 2,51
Srednja	96 - 115	Teški rad	do 6,30
Umjerena	116 - 130	Najteži rad	do 10,47
Velika	131 - 150		
Vrlo velika	iznad 150	Sportski maksimum	od 11 do 41,90

Pomoću izmjerene frekvencije pulsa također je moguće, pomoću poznatih modela (1), izračunati potrošnju kisika i energije pri radu (Vondra 1995). Napominje se da je fiziološka jedinica za rad i energiju litra kisika (1 LO₂), te da se pri potrošnji 1 LO₂ u organizmu oslobađa energija u prosječnoj količini od 5 Kcal (kalorijski ekvivalent kisika).

$$Q_{EP} = 14,42 - 0,4268 f_{FS} + 0,003914 f_{FS}^2 \quad (1)$$

Q_{EP} – energijska potrošnja, kJ·min⁻¹; f_{FS} – frekvencija srca, min⁻¹

Ograničenje navedenih metoda je u tome što uz radno opterećenje na frekvenciju pulsa utječu i životna dob, zdravstveno stanje, tjelesna težina, uživanje nikotina, unutrašnji doživljaji, psihičko stanje i sl. Ipak, smatra se da i pred tih ograničenja, prosječna, skupna razina pulsa u radnome danu daje vrlo koristan i dovoljno pouzdan podatak o radnom opterećenju radnika.

Za mjerenje frekvencije pulsa u provedenim je istraživanjima korišten uređaj Garmin Fenix 3HR (slika 16).



Slika 16. GPS uređaj i Heart Rate Monitor Garmin Fenix 3HR

Slika 17. Provedba snimanja na terenu

Garmin Fenix 3HR je visokoprecizan multisport sat sa senzorom za otkucaje srca na zapešću. Sat sadrži brojne funkcije za praćenje i procjenu izvedbe različitih aktivnosti na otvorenome. Opremljen je barometarskim visinomjerom, elektroničkim 3-osnim kompasom i GPS prijemnikom koji automatski kalibrira ove senzore radi što točnijih podataka. Sveobuhvatnim funkcijama navigacije i praćenja Fenix 3HR bilježi GPS zapis traga i stvara trag kretanja.

Uređaj je opremljen je Elevate tehnologijom mjerenja pulsa na zapešću što omogućuje praćenje pulsa bez potrebe nošenja monitora pulsa na prsima. Pritom je uz praćenje rezultata za vrijeme rada, moguće pratiti dnevne aktivnosti uz praćenje pulsa 24 sata dnevno te dobiti točnije podatke o potrošnji energije tijekom dana. Fiziološka mjerenja koja prate rad također mogu dati procjenu sljedećih parametara:

- Naprezanje – oscilacije pulsa pokazuju ukupnu razinu stresa
- Stanje performansi – uspoređuje trenutačnu kondiciju s prosječnom kondicijom
- Laktatni prag – procjenjuje točku u kojoj se mišići brzo umaraju

Dodatne funkcijama koje daju informacije o stanju fizičke spremе i kondiciji uključuju maksimalni primitak kisika (VO₂), utrošak kalorija, savjetnik za oporavak i sl.

Snimanjima provedenim uz primjenu opisane metode i uređaja Garmin Fenix 3HR obuhvaćene su tri vrste šumarskih radova, odnosno tri šumska radnika – operater harvesterа, operater forvardera i šumski radnik sjekač. Radnici su prethodno mjerenju pulsa upoznati sa snimanjem te su za svakog radnika zabilježeni osnovni osobni podaci (starost, visina, težina, puls u mirovanju, zdravstveno stanje i dr.). Tijekom snimanja zasebno su praćene dionice efektivnoga rada radnika i općeg vremena pri radu (odmori, zastoji, fiziološke potrebe i sl.). Na razini cjelokupnoga snimanja, odnosno za svaku pojedinačnu dionicu pritom su posebno bilježeni sljedeći parametri: 1) trajanje dionice/snimanja, 2) prosječna frekvencija pulsa, 3) maksimalna frekvencija pulsa.

Kod terenskog rada operatera harvesterа ukupno je snimljeno je 17 h i 25 minuta rada, odnosno 11 h i 33 minuta efektivnog rada i 05 h i 52 minuta općih vremena. Kod terenskog rada operatera forvardera ukupno je snimljeno je 16 h i 33 minuta rada (12 h i 24 minuta efektivnog rada i 04 h i 09 minuta općih vremena). Kod terenskog rada šumskog radnika sjekača ukupno je snimljeno je 06 h i 07 minuta rada (03 h i 52 minute efektivnog rada i 02 h i 15 minuta općih vremena).

Za daljnju obradu i analizu podataka svi su snimljeni zapisi pomoću aplikacije Garmin Connect IQ preneseni na posebnu on-line platformu, odnosno bazu koju omogućava detaljnije kategoriziranje, analiziranje, i statističku obradu pokazatelja.

Vibracije koje se prenose na cijelo tijelo javljaju se pri terenskim radovima kao što je mehanizirana sječa, izrada i privlačenje drva. Vibracijama su izloženi radnici koji za vrijeme rada sjede u sjedalu upravljanog stroja, te se one preko sjedišta i naslona prenose na cijelo tijelo radnika. Razine vibracija ovisi o ergonomiji sjedala, starosti vozila i stanju stroja, terenskim čimbenicima, te radnoj operaciji koja se izvodi sa strojem. Dugotrajnim izlaganjem vibracijama koje se prenose na cijelo tijelo povećava se rizik ozljede koštano-mišićnog, živčanog i endokrinog sustava. Prema EU Directive (2002/44/EC) ustanovljene su dvije vrijednosti dnevne izloženosti vibracijama koje se prenose na cijelo tijelo:

- Akcijska vrijednost dnevne izloženosti od 0,5 m/s² A(8) pri kojoj je poslodavac dužan primijeniti tehničke i organizacijske mjere smanjenja izloženosti vibracijama
- Granična vrijednost dnevne izloženosti od 1,15 m/s² A(8) koje se ne smije prekoračiti.



Slika 18. Vibrometar Brüel & Kjær 4447 sa 4515 nosačem



Slika 19. Položaj 4515 adaptera na sjedištu sjedala

Razine vibracija su mjerene na sjedištu i naslonu sjedala harvestera i forvardera. Ukupno su napravljena četiri mjerenja u četiri dana, te su vibracije mjerene u vremenskom intervalu od 4 sata i 45 minuta po jednoj poziciji, tj. danu. Dulje vrijeme mjerenja nije bilo moguće sa dotičnim instrumentom zbog ograničene memorije instrumenta. Kao mjerni instrument koristio se vibrometar Brüel & Kjær 4447 sa troosnim akcelerometrom i 4515 nosačem u obliku gumene podloge koja se postavlja na sjedište i naslon sjedala (slika 18). Vibrometar je bio priključen na 12-voltnu utičnicu u stroju zbog nedovoljnog kapaciteta baterije. Za prijenos snimljenih podataka na računalo korišten je softver 4447 Vibration Explorer 2.0.1., a za obradu će i prikaz biti korišten MS Excel 2016 (obrada podataka u tijeku). Kao relevantan će se podatak snimanja koristiti dobivena A(8) vrijednost koja, koristeći razine vibracija u vremenu snimanja, projicira izloženost radnika vibracijama u osmosatnom vremenu. Radnik je za vrijeme snimanja zbog potreba radova više puta napustio kabinu stroja, te su zbog te činjenice snimljene i vibracije koje nisu prenesene na njegovo tijelo. Snimanje razina vibracija nije ni na koji način ometalo radnika u njegovom radu.

1.2.4 Ekološki pokazatelji

Određivanje intenziteta oštećivanja dubućih stabala pri skupnom radu harvestera i forvardera provedeno je mjerenjem i klasifikacijom oštećenja na pojedinim stablima izabranih »harvesterskih pruga« u cilju razlučivanja uzročnika oštećenja (harvester/forvarder) – obrada podataka u tijeku; a po završetku radova pridobivanja drva ista će se metodologija, ovaj puta za oba stroja zajedno, primijeniti prilikom određivanja oštećenja na transektima postavljenim u oba odsjeka (planirano za sljedeće polugodište).

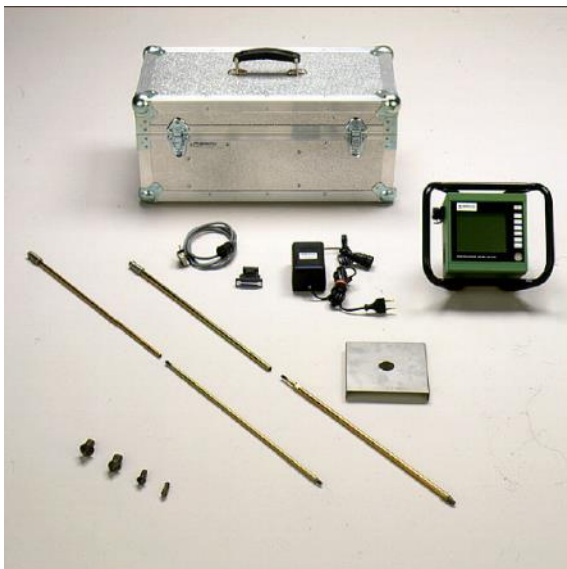
Nosivost tla se procjenjuje mjerenjem njegove tvrdoće preko otpora prodiranju (penetraciji) koji tlo pruža utiskivanju metalnog stošca poznatih mjera. Pri tome se otpor prodiranja konusa mijenja s dubinom prodiranja u tlo zbog uslojenosti tla, sadržaja skeleta i isprepletenosti tla korijenjem. Krivulja prodirne značajke tla sadrži podatke o potrebnoj sili ili tlaku za utiskivanje konusa u tlo u ovisnosti o dubini prodiranja konusa.

Određivanje prodirnog otpora obavlja se mjernim uređajem tzv. penetrometrom, uz poznatu ploštinu osnovice konusa i mjerenu silu utiskivanja. U svrhu mjerenja prodirne značajke i određivanja nosivosti tla korišten je digitalni penetrometar Eijkelkamp Penetrologger (slika 20).

U praktičnoj primjeni koristi se standardizirana vrijednost mjerenja otpora prodiranja konusa (ASAE EP542 1999) na dubini tla od 15 cm, nazvana konusni indeks (CI). Ista norma preporuča korištenje konusnoga indeksa pri procjeni prohodnosti terena i kretnosti vozila te kao parametar koji se koristi u modelima vučnih značajki vozila, tzv. WES modelu (*Waterways Experimentation Station, US Army Corps of Engineering research*).

Usporedno sa mjerenjem prodirne značajke tla mjereno je i volumni sadržaj vlage u tlu sa digitalnim uređajem ThetaProbe (Theta sonda). Theta sonda se priključuje na komunikacijski kanal penetrollogera i prije svakog utiskivanja konusa u tlo, u tlo se utiskuje Theta sonda sa trnovima radi mjerenja vlage tla. Vлага tla je mjerena na površini tla prilikom svakog mjerenja penetracijske značajke tla.

Osim nosivosti tla mjereno je i otpor tla na smicanje krilnom sondom (slika 21). Krilna sonda je najprimjenjiviji uređaj za mjerenje smične čvrstoće tla u terenskim uvjetima koji se sastoji od mjernog krila i mjerila zakretnog momenta. Mjerno krilo se utiskuje u tlo do željene dubine, a moment–metrom se bilježi zakretni moment potreban da se okrene krilo u trenutku savladavanja čvrstoće tla na smicanje. Krilnu sondu treba okretati konstantnom brzinom.



Slika 20. Digitalni konusni penetrometar
Eijkelkamp Penetrologger



Slika 21. Krilna sonda

Na temelju mase uzoraka tla uzetih u narušenom (fizički izmijenjenom) stanju, laboratorijskim analizama mjere se i izračunavaju vodno – fizička svojstva tla. Svrha uzimanja ove vrste uzoraka na terenu je određivanje granulometrijskoga sastava tla te vrsta i tip tla. Laboratorijske (direktne) metode određivanja granulometrijskoga ili mehaničkoga sastava tla rade se u skladu sa normom ISO 11277 (2009), a obuhvaćaju sušenje uzorka, odvajanje skeleta, usitnjavanje i prosijavanje tla preko sita s rupicama promjera 2 mm kako bi se odvojilo sitno tlo (sitnica). Određivanje granulometriskog sastava tla obavljeno je u Ekološko – pedološkom laboratoriju Šumarskog fakulteta u Zagrebu.

Utjecaj na šumsko tlo u postupcima strojne sječe i izrade stabala te primarnog transporta drva u većini slučajeva je toliko intenzivan da je nužno uspostaviti sustav upravljanja i kontrole rada vozila kao mjere opreza u svrhu zaštite tla. U svrhu zaštite tla nužna je dokumentacija u smislu snimanja broja prolazaka vozila po sastojini, ali i načina po kojem se vozilo kreće po sastojini. Pri tome se misli na to da li vozilo odnosno vozač prati smjernice organiziranog izvoženja drva sa ciljem zaštite tla i pomlatka ili se neorganizirano kreće po sastojini tražeći preostale drvene sortimente. Za snimanje položaja i putanja kretanja, te na temelju snimljenih koordinata izračuna duljine puta kretanja strojeva, korišteni su GPS uređaji ugrađeni u mobilne jedinice FMS-a. Obrada podataka snimljenih koordinata položaja istraživanih strojeva je u tijeku i rezultati će biti prikazani u slijedećem izvješću.

Svim prethodno navedenim terenskim mjerenjima prikupljen je značajan dio ulaznih podataka potrebnih za provođenje Analize utjecaja na okoliš istraživanih sustava pridobivanja drva. Navedena će se analiza provoditi putem LCA analize (Life Cycle Assessment) u SimaPro programskome paketu (*planirano za slijedeće polurazdoblje*).

1.2.5 Estetski pokazatelji

Tijekom provođenja istraživanja, dana 18. srpnja 2017. godine organizirana je terenska demonstracija primjene mehaniziranog sustava pridobivanja drva u proredi bjelogoričnih sastojina za šumarske stručnjake koji se bave problematikom pridobivanja drva. Članovi istraživačkog tima prezentirali su osnovne značajke primjene navedenoga sustava, primijenjene metode istraživanja i dosadašnje rezultate 5E pokazatelja (ekološki, ergonomski, energijski, estetski, ekonomski).

Nakon prezentacije uslijedila je stručna rasprava. U navedenoj je prigodi provedeno i istraživanje – anketa o estetici izvođenja radova s fokusom na stupanj iskorištenja deblovine i ovršina, visinu panjeva, dubinu kolotraga i izgaženost površine te oštećenja na dubecim stablima (obrada podataka u tijeku).



Slika 22. Terenska demonstracija primjene istraživanog sustava

1.3 Rezultati istraživanja

1.3.1 Ekonomski pokazatelji

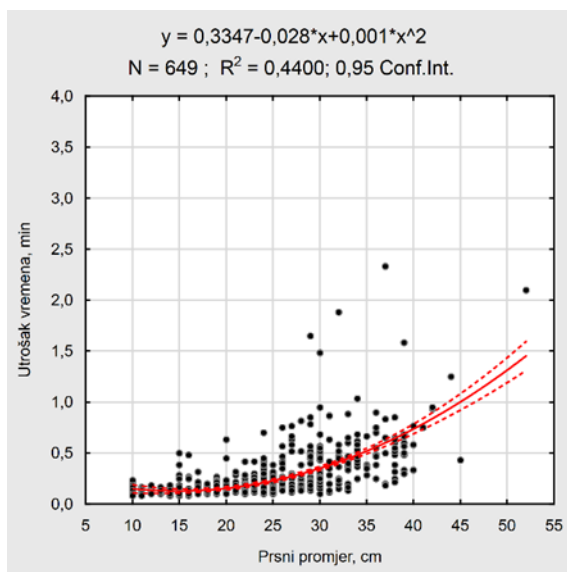
Tijekom istraživanja mehaniziranoga sustava pridobivanja drva sortimentnom metodom, u istraživanim je odsjecima ukupno posječeno, izrađeno i na pomoćno stovarište izvezeno 1020,89 m³ drvnih sortimenata; od toga 26,73 % tehničke oblovine (272,89 m³) i 73,27 % višemetarskog prostornog drva (748,00 m³).

Od ukupno snimljenoga vremena rada harvestera na efektivno vrijeme otpada 68,83 %, dok je udio općeg vremena 31,17 %. Prosječni utrošak vremena vožnje harvestera od pomoćnog stovarišta do sječine iznosio je 5,52 minute, dok je prosječni utrošak vremena vožnje od sječine do pomoćnog stovarišta iznosio 5,94 minute po radnome danu. Za radni zahvat zauzimanje položaja prosječno je utrošeno 0,08 minuta po stablu. Za sječju stabala prosječno je utrošeno 0,25 minuta po stablu. Izrada debla prosječno iznosi 0,27 minuta po stablu, a na radni zahvat izrade krošnje prosječno je utrošeno 0,86 minuta po stablu. Na premještanje je prosječno utrošeno 0,56 minuta po stablu. Prosječni utrošak vremena za pomicanje stabala iznosi 0,04 minute po stablu. Na uhrpavanje je prosječno utrošeno 0,10 minuta po stablu.

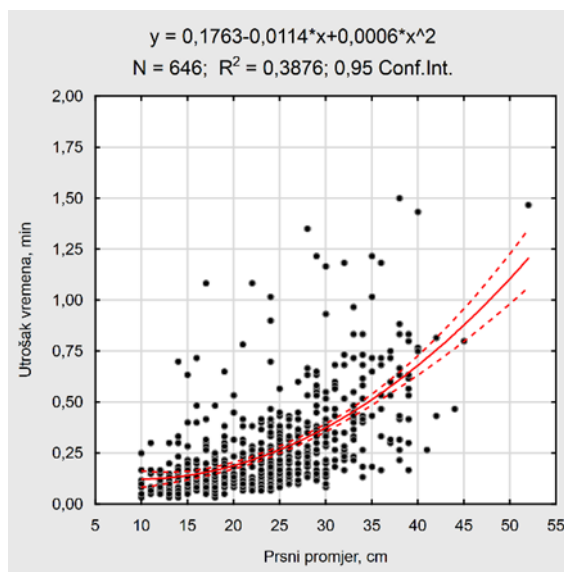
Prsni promjeri posječenih i izrađenih stabala prilikom istraživanja kretali su se u rasponu od minimalno 10 cm do maksimalno 52 cm.

Faktor dodatnog vremena utvrđen je u iznosu 1,33 i njegova visoka vrijednost je posljedica korištenja harvestera starijeg godišta, odnosno smanjene tehničke ispravnosti harvestera. Posebno su pri analizi izdvojeni prekidi nastali uslijed pucanja ili pada lanca s vodicice (6,39 % općih vremena). Česti prekidi nastali uslijed pucanja i ispadanja lanca posljedica su prevelike brzine kojom vodicica izlazi iz harvesterske glave. Taj je problem tijekom istraživanja riješen na način da je brzina kojom vodicica izlazi iz harvesterske glave smanjenja dok je brzina kretanja lanca ostala ista.

Efektivna vremena sječe i izrade (izrada debla, izrada krošnje) promatrana su kao varijabilna vremena u odnosu na prsni promjer stabla (slike 23, 24 i 25). Kao što je vidljivo i na priloženim slikama, na izradu krošnje je utrošeno značajno više vremena negoli na izradu debla. Prilikom izrade stabla do krošnje harvester ne mora kresati grane, već samo vrši trupljenje. Najveći utrošak vremena izrade krošnje primijećen je kod onih stabla koja su imala rašlje.

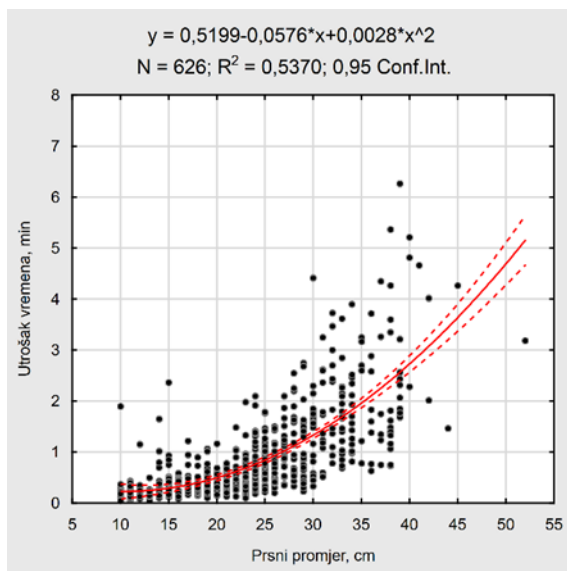


Slika 23. Ovisnost utroška vremena sječe o prsnom promjeru stabala

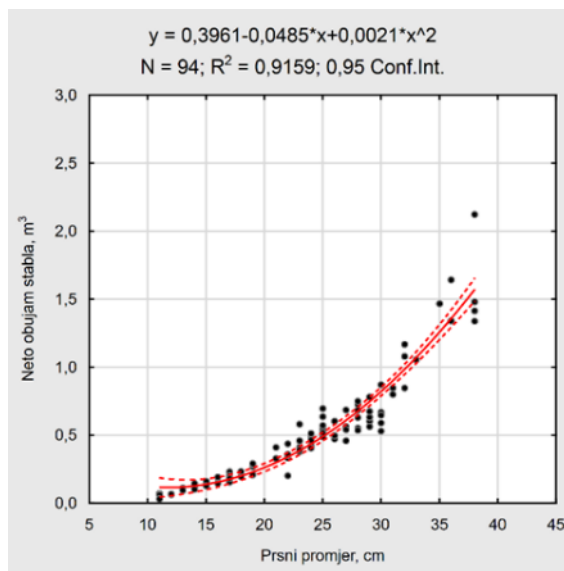


Slika 24. Ovisnost utroška vremena izrade debla o prsnom promjeru stabla

S obzirom da je računalna evidencija obujma krošnje bila evidentno nepouzdana zbog istovremene izrade (i mjerenja) više komada višemetarskog prostornog drva u jednom zahvatu (detaljne analize razlika evidencije izrađenih drvnih sortimenata harvesterom i preuzetog neto obujma po stablu su u tijeku) za transformaciju proizvodnosti iskazanu brojem stabala u proizvodnost iskazanu neto obujmom bilo je nužno konstruirati pouzdan matematički algoritam za izračun ovisnosti neto obujma o prsnom promjeru posječenoga stabla. U navedenu je svrhu uzorkovano 94 stabla. Raspon prsnih promjera kretao se od 11 do 38 cm. Neto obujam kretao se u rasponu od minimalno 0,031 m³ do maksimalno 2,123 m³, dok je prosječni neto obujam stabla iznosio 0,518 m³ (slika 26).



Slika 25. Ovisnost utroška vremena izrade krošnje o prsnom promjeru stabala



Slika 26. Ovisnost neto obujma stabla o prsnom promjeru stabla

Proizvodnost je harvesteru izračunata na temelju matematičke jednadžbe za izračun proizvodnosti sječe i izradbe (1) u koju je uvršten faktor dodatnog vremena (f_d), utrošak fiksnog efektivnog

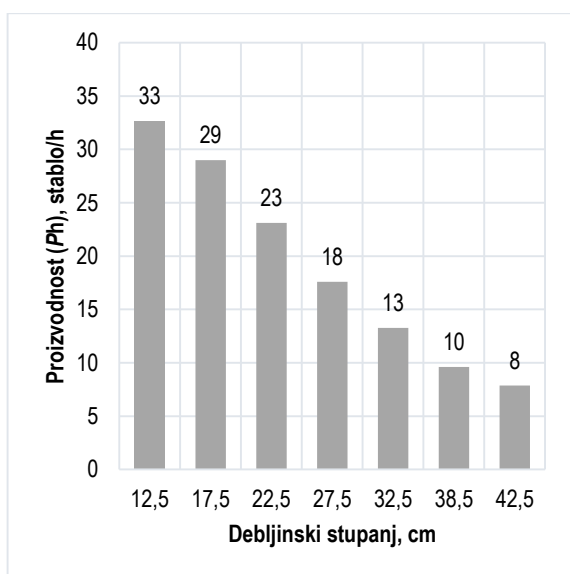
vremena (t_F) koji je obuhvaćao prosječne vrijednosti utroška vremena za slijedeće radne zahvate: zauzimanje položaja ($t_{ZP} = 0,08$ min/stablo), pomicanje ($t_{PO} = 0,04$ min/stablo), premještanje harvestera ($t_{PR} = 0,56$ min/stablo), uhrpavanje ($t_{UH} = 0,10$ min/stablo), vožnja do sječine ($t_{VS} = 0,04$ min/stablo) i vožnja do pomoćnog stovarišta ($t_{VPS} = 0,04$ min/stablo). Na mjesto varijabilnih efektivnih vremena (t_V) uvrštene su regresijske jednadžbe za sječu (slika 23), izradu debla (slika 24) i izradu krošnje (slika 25).

$$P_h = \frac{60}{f_d \times (t_F + t_V)} \left[\frac{\text{stablo}}{h} \right] \dots (1)$$

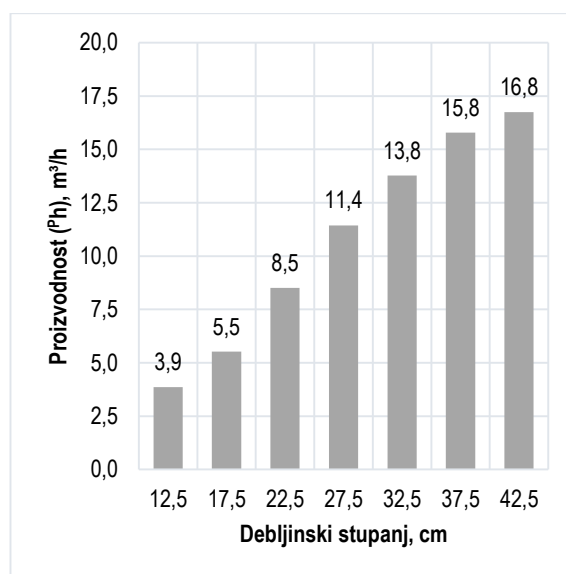
$$P_h = \frac{60}{f_d \times (t_{ZP} + t_{PO} + t_{PR} + t_{UH} + t_{VS} + t_{PS} + t_S + t_{ID} + t_{IK})} \left[\frac{\text{stablo}}{h} \right]$$

Matematičkim modelom (1) moguće je izračunati proizvodnost strojne sječe i izrade (P_h) iskazanu brojem stabala po radnom satu. Množenjem izračunate proizvodnosti neto obujmom prosječnog stabla (slika 26) proizvodnost se može iskazati neto obujmom.

Harvesterom je moguće posjeći veći broj stabala nižeg debljinskog stupnja. S povećanjem prsnog promjera stabla potreban je veći utrošak vremena sječe i izrade što dovodi do smanjenja broja posječenih i izrađenih stabala. Proizvodnost harvestera se kretala od 33 stabla po satu za debljinski stupanj 12,5 cm do 8 stabala za debljinski stupanj 42,5 cm (slika 26). No, djelovanjem zakona obujma komada u jednom je satu moguće 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 (slika 27).



Slika 27. Proizvodnost strojne sječe i izrade iskazana brojem stabala po satu



Slika 28. Proizvodnost strojne sječe i izrade iskazana neto obujmom po satu

Za izračun jediničnih troškova strojne sječe i izrade upotrebljen je kalkulativni trošak u iznosu od 905,85 kn/h, koji je utvrđen prijašnjim istraživanjima strojne sječe i izrade (Vusić 2013). U ovisnosti o porastu proizvodnosti jedinični troškovi padaju od 235,07 kn/m³ za debljinski stupanj 12,5 cm do 54,08 kn/m³ za debljinski stupanj 42,5 cm.

Tijekom istraživanja rada forvardera utvrđena je prosječna brzina kretanja neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu od 2,33 km/h, odnosno 2,74 km/h u sječini. Prosječna

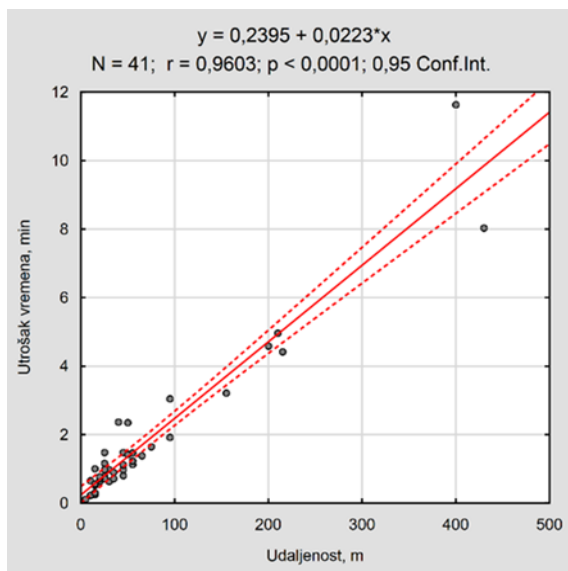
ostvarena brzina prilikom vožnje opterećenog forvardera po sječini iznosila je 2,60 km/h, odnosno 1,98 km/h po pomoćnom stovarištu.

U strukturi ukupno snimljenih vremena efektivna vremena čine 74,30 %, dok opće vrijeme čini 25,70 % ukupno snimljenog vremena izvoženja drvnih sortimenata forvarderom. U strukturi općih vremena najzastupljeniji su opravdani tehnički prekidi sa 27,48 % i pauza za ručak sa 36,62 %. Razlog leži u korištenju stroja starijeg godišta što dovodi do čestih kvarova, osobito pucanje uljnih vodova.

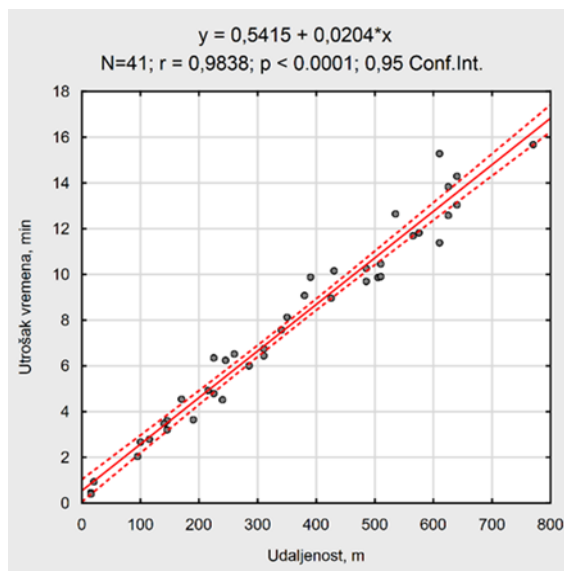
Korigiranjem općih vremena objeda i pripremno završnog vremena te izbacivanjem prekida radi istraživanja izračunat je faktor dodatnog vremena 1,26.

Prosječna udaljenost vožnje neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu iznosi 69,63 m $\pm$ 95,17 m, s prosječnim utroškom vremena od 1,80 minuta po turnusu. Prosječna udaljenost vožnje opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu iznosi 33,78 m $\pm$ 26,43 m, uz prosječni utrošak vremena od 1,02 minute po turnusu. Prosječna udaljenost vožnje neopterećenog forvardera po sječini iznosi 352,93 m $\pm$ 204,84 m, uz prosječno vrijeme trajanja vožnje od 7,73 minute po turnusu. Opterećen forvarder je vožnjom po sječini prolazio prosječnu udaljenost od 253,41 m $\pm$ 188,96 m, dok je utrošak vremena opterećenog forvardera po sječini iznosio 5,85 minuta po turnusu. Vidljiva je razlika u prosječnim udaljenostima kod vožnje opterećenog i neopterećenog forvardera po sječini koja je uzrokovana kretanjem vozila po različitim izvoznim pravcima, ali i uslijed pomicanja forvardera prilikom utovara drvnih sortimenata. Na taj način forvarder je veće udaljenosti prolazio kada je bio neopterećen. Razlika u prosječnim udaljenostima vožnje neopterećenog i opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu je nastala prvenstveno prilikom istovara tehničke oblovine, koja je bila razvrstavana i »razvučena« po pomoćnom stovarištu, te je na taj način na kraju istovara udaljenost koju je neopterećen forvarder prolazio bila veća od udaljenosti vožnje opterećenog forvardera.

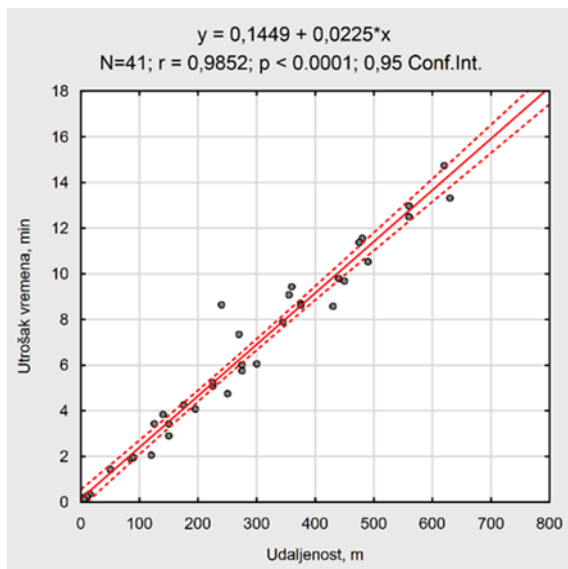
Obradom snimljenih podataka regresijskom analizom utvrđeni su utrošci vremena kretanja neopterećenog i opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu i sječini u zavisnosti o udaljenosti vožnje (slika 29, 30, 31, 32).



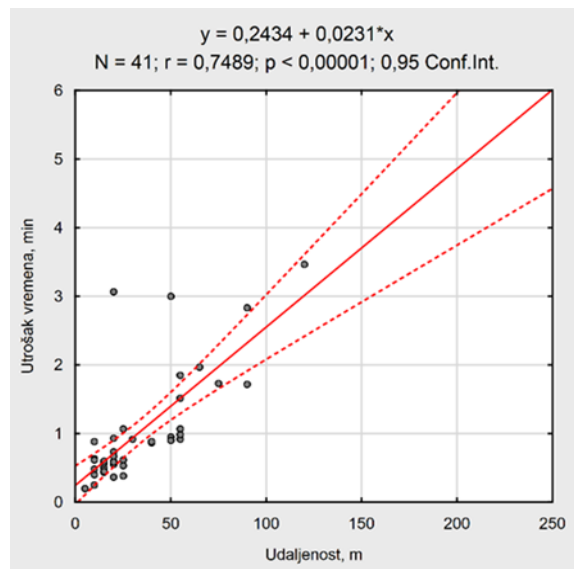
Slika 29. Ovisnost utroška vremena vožnje neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu o udaljenosti vožnje



Slika 30. Ovisnost utroška vremena vožnje neopterećenog forvardera po sječini o udaljenosti vožnje

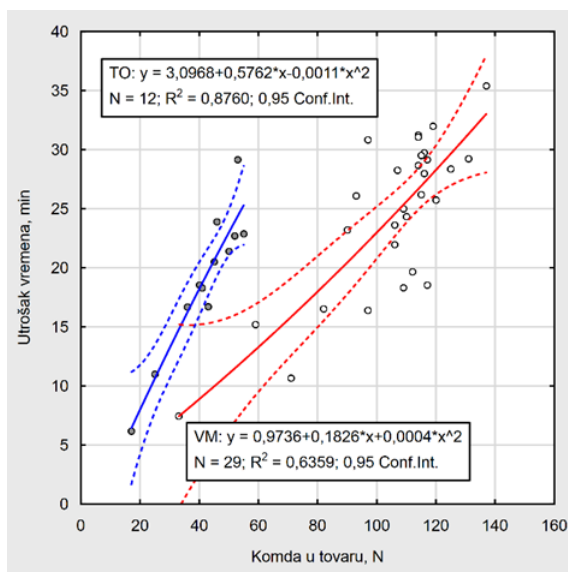


Slika 31. Ovisnost utroška vremena vožnje opterećenog forvardera po sječini o udaljenosti vožnje

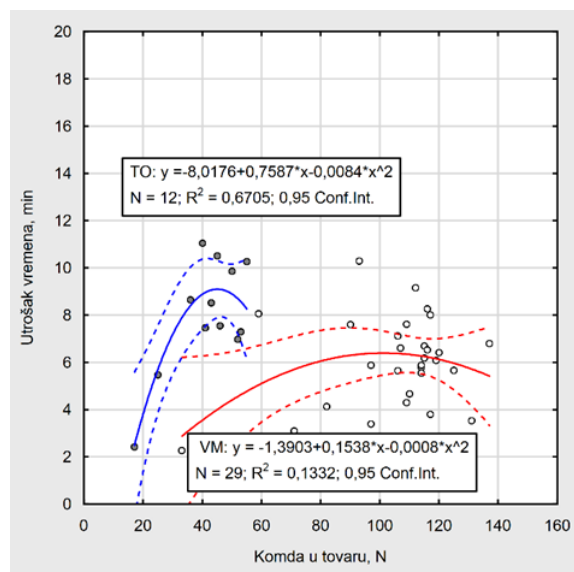


Slika 32. Ovisnost utroška vremena vožnje opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu o udaljenosti vožnje

Forvarderom je odvojeno transportirana tehnička oblovina i višemetarsko prostorno drvo. Za utovar tehničke oblovinе prosječno je utrošeno 19,01 minuta, a prosječan broj komada u tovaru iznosio je 42 ± 11 . Prosječno vrijeme utovara višemetarskog prostornog drva iznosilo je 24,50 minuta, dok je u tovaru prosječno bilo 105 ± 22 komada. Manji utrošak vremena za utovar tehničke oblovinе, proizlazi iz većih dimenzija tehničke oblovinе, odnosno s manjim brojem komada moguće je prije natovariti utovarni prostor forvardera. Također, povećanjem broja komada tehničke oblovinе u tovaru znatno raste i utrošak vremena utovara, dok je to kod višemetarskog prostornog drva manje izraženo, što je vidljivo po nagibima pravaca izjednačenja (slika 33). Usporedbom pravaca izjednačenja za isti broj komada vidljivo je da za utovar višemetarskog prostornog drva treba utrošiti znatno manje vremena što je posljedica uhrpavanja višemetarskog prostorno drva u sječini prilikom izrade harvesterom. Prosječna udaljenost pomicanja po sječini pri utovaru (do sljedećeg mjesta utovara) iznosila je 18 m, a prosječni ukupni utrošak vremena za pomicanje pri utovaru iznosio je 19,16 minuta po turnusu.



Slika 33. Ovisnost utroška vremena utovara o broju komada u tovaru



Slika 34. Ovisnost utroška vremena istovara o broju komada u tovaru

Istovar drvnih sortimenata se odvijao na pomoćnom stovarištu koje se je nalazilo s obje strane šumske ceste. Tehnička oblovina je u cilju omogućavanja preuzimanja bila »razvučena« s jedne strane pomoćnog stovarišta, dok je višemetarsko prostorno drvo bilo uhrpano sa suprotne strane. Prosječno vrijeme istovara tehničke oblovinе trajalo je 8,01 minutu, a prosječan broj komada u tovaru je iznosio 42 ± 11 . Za istovar višemetarskog prostornog drva čiji je tovar prosječno brojio 105 ± 22 komada, prosječno je utrošeno 6,04 minuta. Manji utrošak vremena istovara višemetarskog prostornog drva u odnosu na tehničku oblovinu rezultat je mogućnosti da se hidrauličkim hvatalom forvardera zahvati veći broj komada, te se samim tima istovar ubrzava. Također višemetarsko prostorno drvo je bilo uhrpavano na jedan složaj, pa nije bilo potrebno često pomicati forvarder prilikom istovara, a često je cijeli tovar istovaren samo s jednim pomicanjem. S druge strane, sortimenti tehničke oblovinе su većih dimenzija i prilikom njihova istovara bilo je potrebno razvući ih po pomoćnom stovarištu kako bi ih poslovođa mogao preuzeti. Shodno tome prilikom istovara tehničke oblovinе forvarder je morao obaviti nekoliko pomicanje kako bi istovarao cijeli tovar. Prosječni utrošak vremena pomicanja forvardera po pomoćnom stovarištu iznosio je 0,31 minutu po turnusu, dok je prosječna udaljenost pomicanja iznosila 6 m.

Kada se usporedi prosječno vrijeme utovara s prijašnjim istraživanjima (Stankić 2010) istog tipa forvardera, ali prilikom izvažanja drvnih sortimenata u glavnom prihodu (dovršnom sijeku) gdje se vrijeme utovara na više sječina kretalo u rasponu od 9,64 minute po turnusu do 14,43 minute po turnusu, može se zaključiti da je manji utrošak vremena utovara drvnih sortimenata u sječinama glavnog prihoda rezultat većih obujma sortimenata koji se izrađuju prilikom sječa glavnog prihoda te je na taj način moguće brže utovariti puni tovar forvardera. S druge strane utrošci vremena istovara prilikom izvoženja oblovinе u glavnom prihodu kreću se u rasponu od 6,00 minuta po turnusu do 7,93 minute po turnusu što nije bitno različito od utrošaka vremena istovara dobivenih ovim istraživanjem.

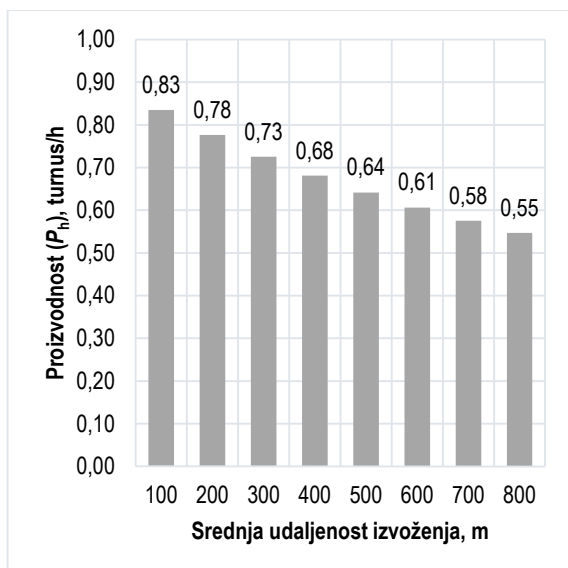
Za svaki odsjek izmjeren je po jedan prosječni tovar tehničke oblovinе i višemetarskog prostornog drva. Obujam tovara višemetarskog prostornog drva iznosio je $12,83 \text{ m}^3$ po turnusu, dok je obujam tovar tehničke oblovinе iznosio $14,16 \text{ m}^3$ po turnusu. Prosječni tovar izračunat kao ponderirani prosjek s obzirom na strukturu planskog neto obujma u dva istraživana odsjeka i iznosio je $13,28 \text{ m}^3$.

Izračun proizvodnosti forvardera obavljen je na temelju matematičke jednadžbe (2). U jednadžbu je uvršten faktor dodatnog vremena (f_d); utrošak fiksnog efektivnog vremena (t_F) obuhvaćao je utroške vremena za vožnju neopterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu ($t_{VPS_N} = 1,80$ minuta/turnus), vožnje opterećenog forvardera po pomoćnom stovarištu ($t_{VPS_O} = 1,02$ minuta/turnus), utovara ($t_U = 22,90$ minuta/turnus), istovara ($t_I = 6,61$ minuta/turnus), pomicanja po sječini ($t_{P_S} = 19,16$ minuta/turnus), uhrpavanja/razvrstavanja ($t_{UH} = 0,26$ minuta/turnus) i utrošak vremena pomicanja po pomoćnom stovarištu ($t_{P_PS} = 0,31$ minuta/turnus). Utrošak varijabilnih vremena (t_V) vožnje neopterećenog i opterećenog forvardera po sječini iskazan je pripadajućim regresijskim jednadžbama (slika 30 i 31).

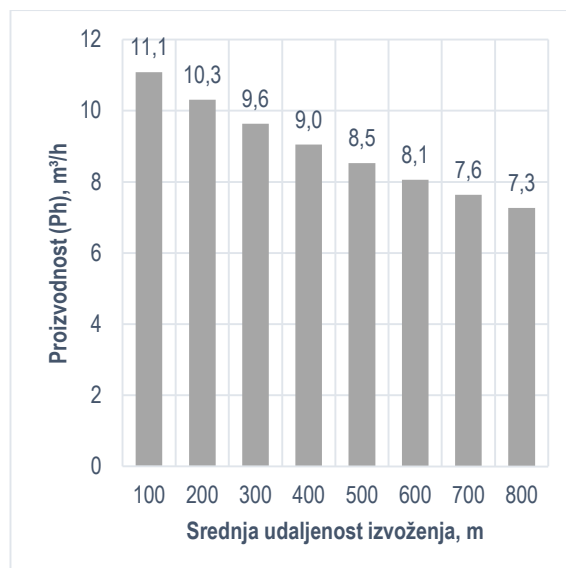
Na temelju konstruiranog matematičkog modela može se izračunati proizvodnost izvoženja forvarderom (P_h) iskazna brojem mogućih turnusa izvoženja u radnom satu za različite srednje udaljenosti izvoženja (slika 35). Množenje broja mogućih turnusa s prosječnim obujmom tovara ($13,28 \text{ m}^3$) proizvodnost se može iskazati neto obujmom (slika 36).

$$P_h = \frac{60}{f_d \times (t_F + t_V)} \left[\frac{\text{turnus}}{h} \right] \dots (2)$$

$$P_h = \frac{60}{f_d \times (t_{VPS_N} + t_{VPS_O} + t_U + t_I + t_{P_S} + t_{UH} + t_{P_PS} + t_{VS_N} + t_{VS_O})} \left[\frac{\text{turnus}}{h} \right]$$



Slika 35. Proizvodnost forvardera iskazana brojem turnusa po satu



Slika 36. Ovisnost utroška vremena istovara o broju komada u tovaru

Povećanjem udaljenosti izvoženja drvnih sortimenata iz sječine do pomoćnog stovarišta dolazi do smanjenja proizvodnosti. Smanjenje proizvodnosti se očituje u smanjenju broja turnusa po satu koji za srednju udaljenost od 100 metara iznosi 0,83 turnusa, dok za srednju udaljenost od 800 m iznosi svega 0,55 turnusa. Usporedno sa smanjenjem broja turnusa dolazi i do smanjenja količine izvezenog drva koja za srednju udaljenost od 100 m iznosi 11,1 m^3 po satu, dok za srednju udaljenost od 800 m iznosi 7,3 m^3 po satu (slika 35).

Za izračun jediničnih troškova izvoženja drvnih sortimenata korišten je kalkulatívni trošak u iznosu od 555,55 kn/h utvrđen u prijašnjim istraživanjima proizvodnosti forvardera (Vusić 2013). Povećanjem proizvodnosti forvardera dolazi do smanjenja jediničnog troška sa 76,48 kn/ m^3 za srednju udaljenost izvoženja 800 m do 50,10 kn/ m^3 za srednju udaljenost izvoženja 100 m.

Usporedba troškova ručno-strojne i strojne sječe i izrade izvršena je za svaki odsjek zasebno i to na temelju podataka iz plana sječa za oba odsjeka. Proizvodnosti su izračunate na temelju srednjeg promjera doznačenog stabla, za odsjek 14 b on iznosi 21,7 cm, dok srednji promjer doznačenog stabla za odsjek 14 c iznosi 26,4 cm. Proizvodnost harvesteru izračunata je na temelju matematičkog modela (1), dok je proizvodnost ručno – strojne sječe očitana iz »Normativa Faze I i Faze II za plan sječa 2017. godine«. Za izračun jediničnih troškova korišteni su kalkulatívni troškovi za ručno – strojnu i strojnu sječú utvrđeni prijašnjim istraživanjima (Vusić 2013).

Tablica 3. Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova ručno - strojne i strojne sječe i izrade

Sredstvo rad		Motorna pila		Harvester	
Radni sati godišnje, h/god		1544	1125	2000	3000
Trošak strojnog rada, kn/h		86,61	905,85	614,41	489,52
Proizvodnost, m^3/h	14 b	1,27	8,01	8,01	8,01
	14 c	1,88	10,84	10,84	10,84
Jedinični trošak, kn/ m^3	14 b	68,20	113,09	76,71	61,11
	14 c	46,07	83,57	56,68	45,16

Unatoč znatno većoj proizvodnosti (m^3/h) harvester zbog visokog troška strojnog rada u odnosu na ručno – strojnu sječú i izradu postaje povoljniji tek pri godišnjem iskorištenju od oko 3000 sati.

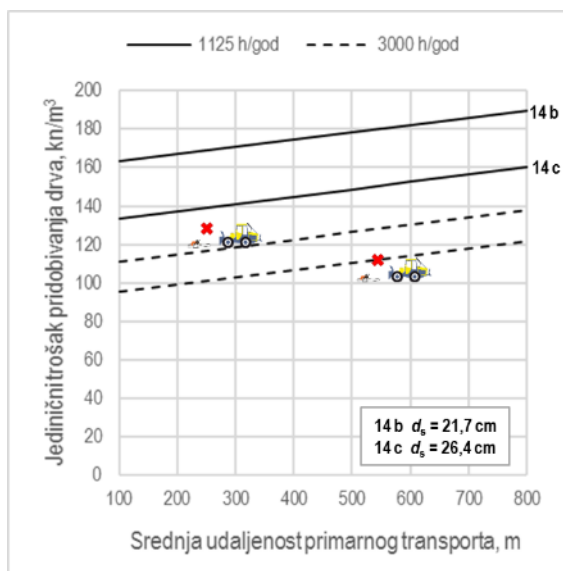
Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova primarnog transporta za oba sredstva rada izvršena je za svaki odsjek zasebno. Podaci o srednjim planskim udaljenostima privlačenje i podaci o proizvodnosti skidera Ecotrac 55V očitani su iz »Normativa Faze I i Faze II za plan sječa 2017. godine«. Srednja planska udaljenost privlačenja za odsjek 14 b iznosi 250 + 100 m, dok je planirani dnevni učinak privlačenja drvnih sortimenata skiderom bez kopčaša 19,82 m³. Planirani dnevni učinak privlačenja drvnih sortimenata u odsjeku 14 c korištenjem skidera bez kopčaša je 18,95 m³, dok je srednja planska udaljenost privlačenja 550 + 100 m. Proizvodnost forvardera izračunata je na temelju matematičkog modela (2), planskih udaljenosti primarnog transporta po sječini i istraživanjem utvrđenih udaljenosti transporta po pomoćnom stovarištu. Za izračun jediničnih troškova korišteni su kalkulativni troškovi za privlačenje drva skiderom bez kopčaša i izvoženje drva forvarderom utvrđeni prijašnjim istraživanjima (Vusić 2013).

Tablica 4. Usporedba proizvodnosti i jediničnih troškova privlačenja drva skiderom i zvoženja drva forvarderom

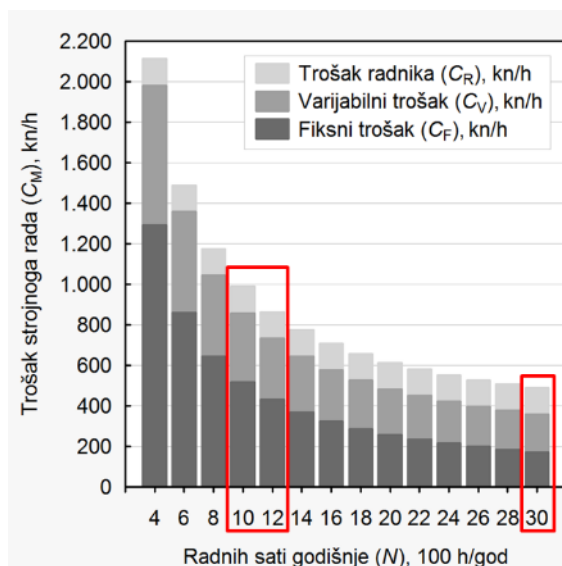
Sredstvo rad	Skider Ecotrac 55V	Forvarder Timberjack 1710D
Radni sati godišnje, h/god	1400	1480
Trošak strojnog rada, kn/h	166,67	555,50
Proizvodnost, m ³ /h	14 b	9,63
	14 c	8,05
Jedinični trošak, kn/m ³	14 b	57,68
	14 c	69,01

Temeljem usporedbe jediničnih troškova (tablica 9) može se zaključiti da je u odsjeku 14 b povoljnije izvoziti drvo forvarderom nego privlačiti ga skiderom. U odsjeku 14 c, također je povoljnije izvoziti drvo forvarderom, iako razlika jediničnih troškova naspram privlačenja drva skiderom nije velika.

Rezultati troškovne pogodnosti sintetizirani su na razini sustava pridobivanja drva i prikazani u grafičkom obliku (slika 37) s naglaskom na godišnje iskorištenje harvesterera (slika 37).



Slika 37. Usporedba jediničnih troškova sustava s obzirom na godišnje iskorištenje harvesterera



Slika 38. Utjecaj godišnjeg iskorištenja harvesterera na jedinični trošak strojne sječe i izrade

1.2.2 Energijski pokazatelji

Potrošnja goriva istraživanih strojeva mjerena je pomoću kapacitivne sonde ugrađene u spremnik goriva, a podaci o potrošnji/razini goriva u spremniku stroja su se prenosili do centralnog servera pomoću FMS sustava, odnosno GPS/GPRS vezom. Preko web aplikacije FMS sustav automatski generira potrošnju strojeva u litrama, odnosno u litrama po radnom satu stroja za odabrani radni dan.

Dnevna i satna potrošnja goriva preuzeta je iz generiranog izvješća preko web aplikacije Mobilisis FMS sustava. Po pogonskome satu harvesterom je utrošeno od 15,7 l/h do 22,9 l/h; prosječno 19,04 l/h $\pm$ 2,15 l/h, odnosno 1,9 l/m³.

Potrošnja goriva istraživaniog forvardera za radne dane kada je radio na izvoženju drvnih sortimenata iskazana je u tablici 5. Potrošnja goriva iskazana je na tri različita načina, tj. po radnom danu, radnom satu i turnusu izvoženja. Po pogonskome satu forvarderom je utrošeno od 8,1 l/h do 10,4 l/h; prosječno 8,83 l/h $\pm$ 0,54 l/h, odnosno 0,9 l/m³.

Jedinična potrošnja goriva po turnusu izvoženja kretala se od 6,63 l/turnus do 13,65 l/turnus. Najmanja jedinična potrošnja postignuta je u danima kada se izvoženje drva obavljalo na manjim udaljenostima.

Tablica 5. Prikaz potrošnje goriva forvardera Timberjack 1710D

Datum	Potrošnja goriva		
	l/dan	l/h	l/turnus
5.7.2017	30,8	8,7	10,27
6.7.2017	72,5	8,9	12,08
7.7.2017	54,6	9,1	13,65
10.7.2017	56,7	8,5	11,34
11.7.2017	52,5	8,2	7,50
12.7.2017	81,5	8,6	10,19
13.7.2017	76,2	9,1	12,70
14.7.2017	84,6	9	12,09
15.7.2017	42,4	8,8	10,60
17.7.2017	66,2	9	13,24
18.7.2017	95	9	13,57
19.7.2017	40,9	8,6	10,23
20.7.2017	82,2	8,4	7,47
21.7.2017	66,3	8,1	6,63
24.7.2017	35	10,4	11,67

1.2.3 Ergonomski pokazatelji

Fizičko opterećenje i energetska potrošnja

Šumski radovi, osobito radovi na pridobivanju drva, svrstavaju se među najteže od svih ljudskih djelatnosti. Pri tom se misli na opterećenja kojima su radnici izloženi pri radu u promjenljivim terenskim i vremenskim uvjetima. Takav rad obilježavaju visoka energijska potrošnja, učestale povrede, izloženost djelovanju vibracija, buke, plinova, prašine i ostalih štetnosti. Kod velikog broja šumskih radova, bez obzira na značajan stupanj mehaniziranosti, upravo ljudski organizam predstavlja osnovni izvor radne energije.

Za procjenu fizičkog opterećenja šumarskih radnika, zbog svoje praktičnosti, vrlo često primjenjuju se metode temeljene na mjerenju pulsa. Mnogi autori ergonomskih istraživanja drže da prosječna razina pulsa u radnome danu daje koristan podatak o radnom opterećenju.

Poznato je da postoji ovisnost utroška kisika i pulsa. Pri fizičkom radu veća se opskrba mišića krvlju postiže bržim radom srca (većim pulsom) i povećanjem srčanoga obujma. Povećanje pulsa pri dinamičnom radu odvija se po određenoj zakonitosti, ovisno o težini posla. Nakon rada puls postupno pada, to sporije što je obavljeni rad bio naporniji. Na puls, uz radno opterećenje, utječu životna dob, zdravstveno stanje, tjelesna težina, psihičko stanje te osobito unutrašnji doživljaji – stres, strah, radost.

Odnos između fizičkog opterećenja pri nekom radu i utrošenog kisika za isti rad je čvrsto ovisan i linearno proporcionalan. Jednako je tako pri čistom fizičkom radu i odnos frekvencije srca i potrošnje kisika čvrsto linearan. Uvažavajući takav odnos potrošnju kisika je jednostavno izračunati iz frekvencije srca (pulsa). Utrošak kisika pri radu mjerilo je teškoće (težine) rada, jer je odnos između obavljenog fizičkog rada i uporabljenoga kisika linearan. Taj odnos koji je kod svakog čovjeka drugačiji definira fizička sposobnost čovjeka. Potrošnja kisika također je jedan od standardnih pokazatelja fizičkog opterećenja te se često koristi u ocjenjivanju teškoće rada (tablica 6).

Tablica 6. Potrošnja kisika pri radu (prema Hollman & Andersen)

	Mirovanje	Rad			Najveće opterećenje
		Laki rad	Srednje teški rad	Teški rad	
Potrošnja kisika, L/min (muški)	0,29	> 0,81	> 1,26	> 2,15	3,20

Za ocjenu fizičkog opterećenja rukovatelja šumske mehanizacije na radovima pridobivanja drva primijenjena je metoda mjerenja frekvencije srca (pulsa) koje je provedeno na uzorkovanim ispitanicima pomoću uređaja Garmin Fenix 3HR (dalje: Garmin 3HR). U postupku odabira ispitanika terenskog mjerenja korišten je namjerni (kvotni) uzorak koji je rezultat osobnog prosuđivanja barem u jednom dijelu postupka izbora jedinica uzorka. Kvotni uzorak je najvažniji u skupini uzoraka koji se zasnivaju na teoriji slučajnosti, a bira se postupkom u kojemu je osigurano da različite podskupine osnovnog skupa budu zastupljene u uzorku prema njihovim važnim značajkama upravo na način kako to istraživač odredi. Prije terenskog mjerenja za svakog ispitanika određeni su slijedeći parametri: spol, visina (u cm), tjelesna masa (u kg), frekvencija srca u odmaranju (FS_0) i maksimalna teorijska frekvencija srca (FS_{max_t}). Frekvencija srca u odmaranju utvrdila se individualnim brojanjem otkucaja srca u trajanju od 1 minute (a) ujutro nakon buđenja ili (b) na mjestu mjerenja poslije 20 minuta bez aktivnosti (mirovanje). Maksimalna teorijska frekvencija srca izračunala se po formuli $FS_{max_t} = 210 - (0,65 \times \text{godine života})$. Tako određeni osobni parametri činili su tzv. ulazni profil ispitanika koji je prije početka terenskog mjerenja, za svakog ispitanika, unesen u memoriju Garmin 3HR.

Ispitanike u istraživanju fizičkog opterećenja (tablica 7) činili su operater harvestera i forvardera (djelatnici privatnog poduzeća Forest – obrt za šumarske usluge trgovinu i prijevoz) te šumski radnik sjekač (djelatnik poduzeća HŠ d.o.o. UŠP Bjelovar). Terenska mjerenja i prikupljanje podataka fizičkog opterećenja provedeno je tijekom mjeseca lipnja, srpnja i rujna 2017. godine.

Tablica 7. Prosječne vrijednosti kvotnog uzorka ispitanika

RS = radno sredstvo; D_g = dob u godinama; H = visina u centimetrima; TM = tjelesna masa u kilogramima, FS_0 = frekvencija srca u odmaranju; FS_{max_t} = maksimalna teorijska frekvencija srca

RS	D_g	H	TM	FS_0	FS_{max_t}
Operater harvestera	26	175	103	68	193
Operater forvardera	33	180	90	74	189
Operater motorne pile	40	180	92	62	184

Kod strojne sječe i izrade frekvencija srca tijekom rada operatera harvestera mjerena je dva dana te je ukupno snimljeno 1045 minuta utroška vremena. Rad operatera forvardera tj. mjerenje frekvencije srca također je provedeno kroz dva radna dana te je ukupno snimljeno 993 minute

utroška vremena. Kod ručno strojne sječe frekvencija srca tijekom rada šumskog radnika sjekača mjerena je jedan dan, a ukupno je snimljeno 367 minuta utroška vremena. Analiza izmjerenih frekvencije srca kod uzorkovanih ispitanika provedena je na razini efektivnog i općeg vremena (tablica 8). Izmjerene vrijednosti prosječne frekvencije srca kod efektivnog, ali i kod općeg, vremena rada vidljivo se razlikuju (tablica 8) između ručno-strojnog i strojnog rada kod radova pridobivanja drva. Sukladno dobivenim vrijednostima prosječne frekvencije srca, radno opterećenje izraženo kroz energetske potrošnje i potrošnju kisika također rezultira vidljivom razlikom u vrijednostima između ručno-strojnog i strojnog rada (tablica 8). Kod efektivnog rada šumski radnik sjekač ima najveću prosječnu zabilježenu frekvenciju srca (tablica 8). S druge strane, prosječna zabilježena frekvencija srca tijekom općeg vremena zamjetno je veća kod strojnog rada (operatera harvestera i forvardera) nego kod ručno-strojnog rada (tablica 8). Razlog navedenog je što u sklopu općeg vremena kod strojnog rada značajan udio imaju radni zahvati koji iziskuju intenzivnije fizičko naprezanje kao npr. namještanje lanca na vodilici harvesterske glave, čišćenje hladnjaka na harvesteru tokom rada, zamjena hidrauličnih crijeva na harvesteru ili forvarderu, popravak kompjutera na harvesterskoj glavi i dr.

Tablica 8. Deskriptivna statistika frekvencije srca i radnog opterećenja uzorkovanih operatera šumske mehanizacije kod efektivnog i općeg vremena rada

RS = radno sredstvo; FS = prosječna frekvencija srca; FS_{max} = maksimalna frekvencija srca; EP = energetska potrošnja; VO₂ = potrošnja kisika

RS	EFEKTIVNO VRIJEME (EV)			
	¹ FS _{EV}	¹ FS _{maxEV}	EP (KJ/min)	VO ₂ (l/min)
Operater harvestera	87	109	7,12	0,92
Operater forvardera	91	124	8,03	1,01
Operater motorne pile	105	127	13,06	1,39
	OPĆE VRIJEME (OV)			
	FS _{OV}	FS _{maxOV}	EP (KJ/min)	VO ₂ (l/min)
Operater harvestera	98	121	10,39	1,20
Operater forvardera	97	120	10,02	1,18
Operater motorne pile	90	123	17,84	0,97

¹Zaokružene vrijednosti na puni broj

Radi detaljnijeg uvida u problematiku radnog opterećenja detaljnija analiza obuhvatila je (a) ispitivanje razlika prosječne frekvencije srca, energetske potrošnje i potrošnje kisika spram strukture radnog vremena (EV - OV) te (b) ispitivanje razlika prosječne frekvencije srca, energetske potrošnje i potrošnje kisika, kod efektivnog vremena i općeg vremena, spram tri sredstva rada. Testiranje statističke značajnosti razlika aritmetičkih sredina prosječne frekvencije srca, energetske potrošnje i potrošnje kisika između efektivnog i općeg vremena provedeno je pomoću T-testa (tablica 9). T-test je pokazao postojanje signifikantne razlike kod prosječne frekvencije srca, energetske potrošnje i potrošnje kisika između efektivnog i općeg vremena za sve tri vrste radova, odnosno tri šumska radnika – operater harvestera, operater forvardera i šumskog radnika sjekača (tablica 9).

Dodatno, u sklopu formirane baze podataka tj. efektivnog i općeg vremena testirane su razlike između srednjih vrijednosti frekvencije srca, energetske potrošnje i potrošnje kisika spram opisne varijable koju čine tri vrste rada (rad pomoću harvestera, forvardera i motorne pile). Homogenost varijanci između grupa podataka testirana je *Leveneovim testom* ($p > 0,05$), a na osnovi razine značajnosti testa daljnje ispitivanje razlika definiranih varijabli provedeno je pomoću parametarskih i/ili neparametarskih tehnika.

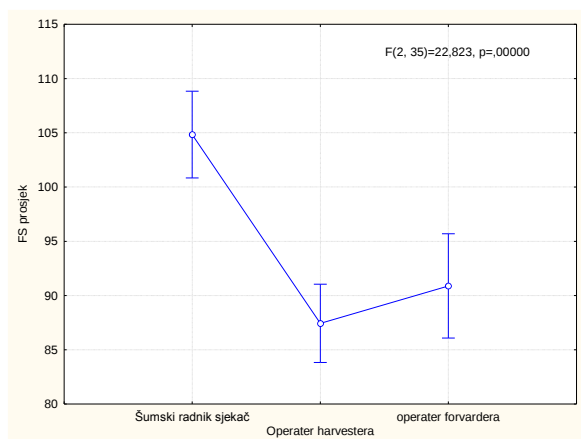
Tablica 9. Ispitivanje značajnosti razlike izmjerenih vrijednosti pomoću T-testa

RS = radno sredstvo; H = harvester; F = forvarder; MP= motorna pila; M = aritmetička sredina; t = t vrijednost; df = stupnjevi slobode; p = razina značajnosti

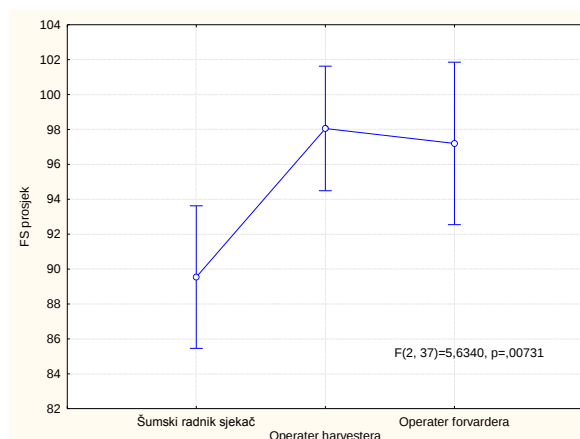
Varijable	RS	M _{EV}	M _{OV}	t	df	p
Prosječna frekvencija srca (1/min)	H	87,437	98,058	4,883	31	0,000**
	F	90,888	97,200	2,710	17	0,015*
	MP	104,846	89,538	-4,197	24	0,000**
Energetska potrošnja (KJ/min)	H	7,119	10,393	4,812	31	0,000**
	F	8,032	10,020	2,635	17	0,017*
	MP	13,064	7,841	-3,948	24	0,000**
Potrošnja kisika (l/min)	H	0,916	1,204	4,883	31	0,000**
	F	1,010	1,181	2,710	17	0,015*
	MP	1,388	0,973	-4,197	24	0,000**

* Razlika je značajna na razini 0,05; ** razlika je značajna na razini 0,01

U okviru efektivnog vremena rada prosječna frekvencija srca kod tri vrste radova pokazala je statistički značaj $F(2, 35) = 22,82$; $p = 0,01$ (tablica 5). Naknadno provedena usporedba pomoću Turkeyevog HSD testa pokazala je da se srednja vrijednost frekvencije srca kod šumskog radnika sjekača ($M=104,85$; $SD=10,08$) značajno razlikuje od vrijednosti frekvencije srca kod operatora harvestera ($M=87,44$; $SD= 5,06$) i operatora forvardera ($M=90,89$; $SD=4,51$). Srednja vrijednost frekvencije srca operatora harvestera tokom efektivnog vremena rada nije pokazala statistički značajnu razliku u odnosu na vrijednost frekvencije srca operatora forvardera. Također, u okviru općeg vremena rada prosječna frekvencija srca kod tri vrste radova pokazala je statistički značaj $F(2, 37) = 5,63$; $p = 0,01$ (tablica 10). Naknadno provedena usporedba pomoću Turkeyevog HSD testa pokazala je da se srednja vrijednost frekvencije srca kod šumskog radnika sjekača ($M=89,54$; $SD=8,44$) značajno razlikuje od vrijednosti frekvencije srca kod operatora harvestera ($M=98,06$; $SD=7,18$) i operatora forvardera ($M=97,20$; $SD=5,51$). Srednja vrijednost frekvencije srca operatora harvestera tokom općeg vremena rada nije pokazala statistički značajnu razliku u odnosu na vrijednost frekvencije srca operatora forvardera.



Slika 39. Srednja vrijednost FS tijekom EV spram tri sredstva rada



Slika 40. Srednja vrijednost FS tijekom OV spram tri sredstva rada

Energetska potrošnja i potrošnja kisika izračunata na temelju izmjerene prosječne frekvencije srca, također je logičnim slijedom, u okviru efektivnog i općeg vremena rada pokazao statistički značaj (tablica 10).

Tablica 10. Ispitivanje razlika varijabli spram tri vrste rada

VS = vremenska struktura; N = broj radnih zahvata; F = F omjer; df = stupnjevi slobode; p = razina značajnosti

Varijable	VS	N	F	df	p
Prosječna frekvencija srca (1/min)	EV	38	22,82	2	0,000**
	OV	40	5,634	2	0,007**
Energetska potrošnja (KJ/min)	EV	38	19,57	2	0,000**
	OV	40	5,026	2	0,012*
Potrošnja kisika (l/min)	EV	38	22,82	2	0,000**
	OV	40	5,634	2	0,007**

* Razlika je značajna na razini 0,05; ** razlika je značajna na razini 0,01

Ergonomska analiza i ocjena radnih uvjeta

S tehnološkim i društvenim razvojem tijekom vremena događaju se i promjene unutar domene sigurnosti na radu i zaštite zdravlja u sektoru šumarstva. Radnici u šumarstvu izloženi su fizičkim, fiziološkim i okolišnim čimbenicima koji rezultiraju različitim oboljenjima, osobito povezanim s mišićnim, skeletnim, živčanim i vaskularnim sustavom te oštećenjem sluha. S razvojem strojne sječe i izrade, rad se iz vanjskog radnog okoliša preseljava u kabinu sredstva rada čime se smanjuje fizička težina rada i izloženost većini čimbenika rizika unutar radnog okoliša. S druge strane, kod strojne sječe i izrade drva javljaju se nove vrste ozljeda i oboljenja, kao npr. sindrom ponavljajućih pokreta (Axelsson i Pontén 1990) koji je rezultat mišićno-skeletnog poremećaja, te novi kognitivni čimbenici rizika koji su sve prisutniji. Stoga, tradicionalnu ergonomsku paradigmu »manje je bolje« treba zamijeniti sa »više može biti bolje« jer smanjena tjelesna aktivnost također ima štetne utjecaje na zdravlje operatera (Straker i Mathiassen 2009).

Mišićno-skeletni poremećaji (MSP) te kumulativni poremećaji vrata i gornjih udova uzrokovani poslom (WRULD) najčešće se javljaju zbog stalnih ponavljanja istih pokreta, uporabe vibrirajućih sredstava rada kroz duži vremenski period te neergonomskog položaja tijela tokom rad. U šumarskoj praksi nalaze se svi uvjeti koji šumskog radnika sjekača izlažu oboljenju od MSP-a: teški terenski uvjeti (niske temperature, sklizak i neravan teren), težak fizički rad i neergonomski položaj tijela (rukovanje teretom, zgrbljena i savinuta leđa), opasni alati i strojevi poput motorne pile. S druge strane, posljedice relativno sigurnog rada s harvesterom i forvarderom očituju se kroz poremećaje mišićno-skeletnog (MSP) i živčanog sustava. Bolovi kod operatera harvestera najčešće se javljaju u području vrata, donjeg dijela leđa te ramena (Hanse i Winkel 2008, Rehn i sur., 2009, Silva i sur., 2014). Pojava MSP-a kod strojne sječe i izrade uvelike ovisi o organizaciji rada (Østensvik i dr. 2008).

Sukladno prethodno spomenutom, ergonomska istraživanja često se provode sa svrhom evaluacije, klasifikacije i, ako je potrebno, implementacije korektivnih mjera vezanih za položaj tijela radnika tokom rada, a s ciljem pronalaska optimalnog načina uravnoteživanja dvije osnovne komponente radnog sustava – ljudske sposobnost i radnih uvjeta. Stoga, ergonomska ocjena položaja tijela radnika tokom rada može pružiti vrijedne informacije s ciljem oblikovanja ili redizajna radnog mjesta i sredstva rada što u konačnici može pomoći u unapređenju radnih performansi radnika uz istovremeno ne prekoračivanje razine sigurnosti vezane za mišićno-skeletno opterećenje. U sklopu istraživanja, provedenog na području UŠP Bjelovar, vrednovanje ergonomskog aspekta rada operatera harvestera, forvardera i šumskog radnika sjekača provedeno je kroz ocjenu položaja tijela radnika tokom rada pomoću »ErgoFellow 3.0« softvera. U okviru navedenog softvera primijenjena su dva ergonomska alata: OWAS (engl. Ovako Working Posture Analysing System) i REBA (engl. Rapid Entire Body Assessment).

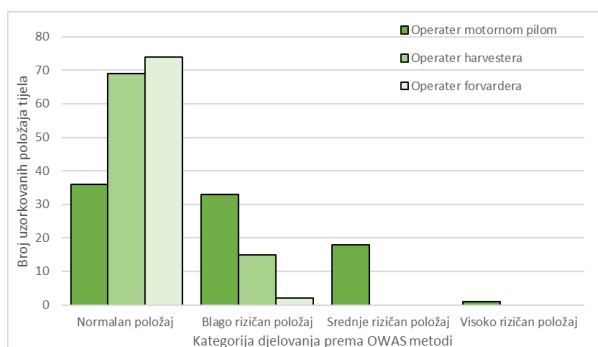
Detalji terenskog istraživanja tj. rada operatera harvestera, forvardera i motorne pile lančanice zabilježeni su pomoću video kamere. Kod terenskog rada operatera harvestera snimljeno je 9 h i 29 minuta efektivnog vremena strojne sječe i izrade drva, kod terenskog rada operatera forvardera 8 h i 29 minuta efektivnog vremena izvoženja drva, a kod terenskog rada šumskog radnika sjekača 45 minuta efektivnog vremena ručno-strojne sječe i izrade drva. Položaji tijela

izdvojeni su iz radnih snimaka snimljenih video kamerom sukladno metodi trenutnih opažanja. Kod strojne sječe i izrade s harvesterom definirani interval opažanja iznosi 6 min, što ukupno čini 88 uzorkovanih radnih položaja tijela operatera tijekom efektivnog rada. Kod strojnog izvoženja drva forvarderom definirani interval opažanja također iznosi 6 min, što ukupno čini 79 uzorkovanih radnih položaja tijela operatera tijekom efektivnog rada. S druge strane, kod ručno-strojne sječe i izrade drva definirani interval opažanja, zbog kratkoće video zapisa, iznosi 0,5 min, što ukupno čini 88 uzorkovanih radnih položaja tijela šumskog radnika sjekača. Svi uzorkovani položaji tijela ocijenjeni su pomoću »ErgoFellow 3.0« softvera kroz dvije navedene tehnike promatranja: OWAS i REBA metode, što u konačnici rezultira s dva položajna opterećenja tijela operatera po svakoj primijenjenoj tehnologiji rada. U tablici 11. prikazan je planirani i ostvareni broj uzorkovanih položaja tijela pri radu kod sva tri operatera.

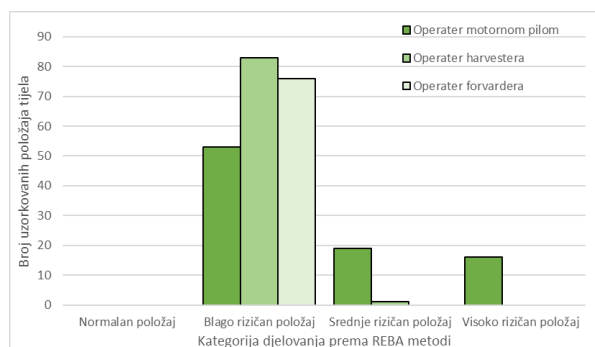
Tablica 11. Struktura uzorkovanog položaja tijela pri radu kod sva tri operatera

Radno sredstvo	Radni položaj tijela		
	Definiran računski, N	Uzorkovan iz snimke, N	Izvršenja, %
Motorna pila	88	88	100
Harvester	88	84	95,45
Forvarder	79	76	96,20

Izvršena analiza radnog položaja tijela operatera tri sredstva rada spram kategorije djelovanja (slika 41 i 42) pokazala je da rad operatera motornom pilom je zahtjevniji i višestruko rizičniji u odnosu na rad operatera harvestera ili forvardera. Prema OWAS metodi (slika 41) kod operatera motornom pilom (N=88) u kategoriju normalnog položaja svrstano je 40,91 % uzorkovanih položaja tijela, dok je 37,50 % svrstano u kategoriju blago rizičnog položaja, a 20,45 % u kategoriju srednje rizičnog položaja i 1,14 % u kategoriju visoko rizičnog položaja. S druge strane, kod operatera harvestera (slika 13, N=84) 82,14 % uzorkovanih položaja tijela svrstano je u kategoriju normalnog položaja i 17,86 % u kategoriju blago rizičnog položaja tijela tokom rada. Kod operatera forvardera prema OWAS metodi (slika 41, N=76) 97,37 % uzorkovanih položaja tijela svrstano je u kategoriju normalnog položaja i 2,63 % u kategoriju blago rizičnog položaja tijela tokom efektivnog rada. Ocjena kategorije djelovanja položaja tijela prema REBA metodi (slika 42) za operatera motorne pile rezultiralo je sa 60,23 % uzorkovanih položaja tijela koji su svrstani u kategoriju blago rizičnog položaja, 21,59 % u kategoriju srednje rizičnog položaja i 18,18 % u kategoriju visoko rizičnog položaja. Kod operatera harvestera (slika 42) 98,81 % uzorkovanih položaja tijela svrstano je u kategoriju blago rizičnog položaja i 1,19 % u kategoriju srednje rizičnog položaja tijela, dok su kod operatera forvardera svi uzorkovani položaji (100 %) svrstani u kategoriju blago rizičnog položaja tijela. Provedena usporedba dvije metode kategorizacije rizika iz aspekta radnog položaja tijela pokazuje da REBA metoda daje oštrije rezultate u odnosu na OWAS metodu kod sva tri uzorkovana radna sredstva (slika 41 i 42).

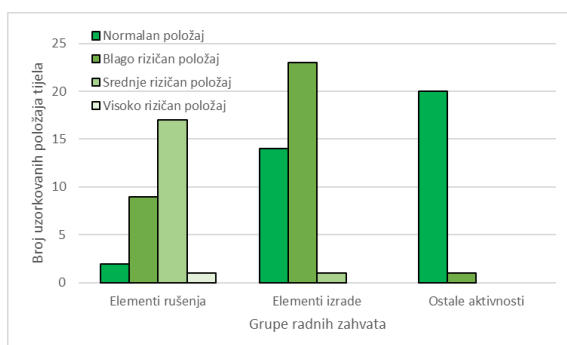


Slika 41. Broj uzorkovanih položaja tijela operatera prema OWAS metodi

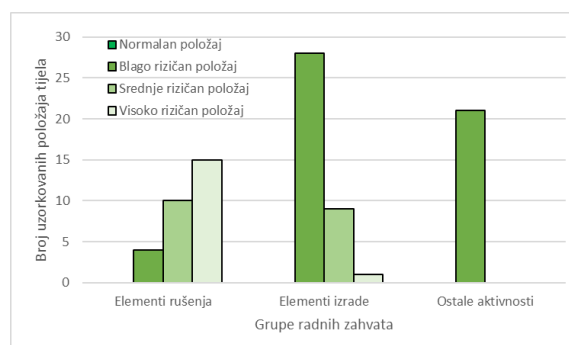


Slika 42. Broj uzorkovanih položaja tijela operatera prema REBA metodi

Detaljnija usporedba uzorkovanih položaja tijela operatera, prema OWAS i REBA metodi, za sva tri sredstva rada provedena je prema grupama radnih zahvata. Kod analize položaja tijela operatera motorne pile (slika 44 i 45) imali smo tri grupe radnih zahvata: elemente rušenja (N = 29; obuhvatili su čišćenje radnog okoliša, obradu žilišta, izradu zasjeka i završni rez), elemente izrade (N = 38; obuhvatili su kresanje, trupljenje, mjerenje i sl.) i ostale aktivnosti (N = 21; obuhvatili su utvrđivanje ili provjeru smjera rušenja, prijelaz ili odstupanje od stabla/debla te aktivnosti na kopčanju trupaca). Rezultati analize prema OWAS metodi (slika 44) pokazuju da je najveći udio srednje rizičnog položaja tijela (19,32 %) i visoko rizičnog položaja tijela (1,14 %) prisutan kod elemenata rušenja. Najveći udio blago rizičnog položaja tijela (26,14 %), prema OWAS metodi (slika 44), prisutan je kod elemenata izrade, a najveći udio normalnog položaja rada prisutan je kod ostalih aktivnosti. S druge strane, oštrija kategorizacija rizika radnog položaja prema REBA metodi (slika 45) pokazuje višestruko veći udio visoko rizičnog položaja tijela (17,05 %) kod elemenata rušenja, a nešto manji udio srednje rizičnog položaja tijela (11,36 %). Kod elemenata izrade kategorija blago rizičnog položaja tijela zastupljena je sa 31,82 %, dok je kategorija srednje rizičnog položaja tijela zastupljena sa 10,23 % (slika 45). Kod ostalih aktivnosti (slika 45) svi uzorkovani položaji tijela svrstani su u kategoriju blago rizičnog položaja.

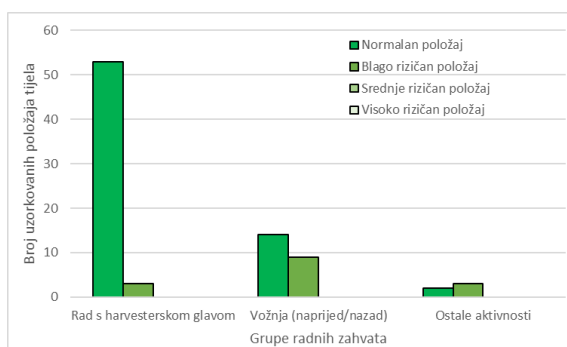


Slika 44. Broj uzorkovanih položaja tijela operatera motorne pile prema OWAS metodi

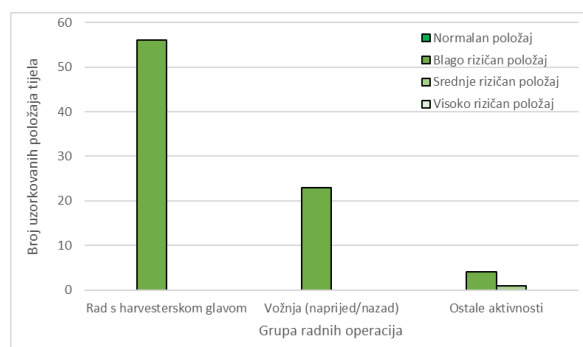


Slika 45. Broj uzorkovanih položaja tijela operatera motorne pile prema REBA metodi

Detaljnija analiza položaja tijela operatera harvesterera (slika 46 i 47) provedena je unutar tri grupe radnih zahvata: rad s harvesterom glavom (N = 56), vožnja naprijed/nazad (N = 23) i ostale aktivnosti (N = 5; obuhvatili su čišćenje hladnjaka, radni dogovor s kolegom preko mobitela i sl.). Rezultati analize prema OWAS metodi (slika 46) pokazuju da je najveći udio blago rizičnog položaja tijela (10,71 %) prisutan kod vožnje sredstva rada naprijed/nazad iz razloga što se sjedište operater ne može okretati za 360° tj. tijekom vožnje unazad operater vozi u zamjetno fiziološki nepovoljnom radnom položaju. Kod aktivnosti rada s harvesterom glavom (slika 46) normalan položaj tijela tokom rada zastupljen je s 63,10 %, a blago rizičan položaj rada s 3,57 %. Kod ostalih aktivnosti (slika 46) blago rizičan položaj tijela zastupljen je s 3,57 % iz razloga što su tu bile obuhvaćene aktivnosti čišćenja hladnjaka sredstva rada od lišća i sl. Kategorizacija rizika položaja tijela prema REBA metodi (slika 47) pokazala je oštrije rezultate kod sve tri grupe radnih operacija. Kategorija blago rizičnog položaja kod rada s harvesterom glavom zastupljena je s 66,67 % (slika 47), a kod vožnje sredstva rada s 27,38 %. Kategorija srednje rizičnog položaja tijela operatera harvesterera s udjelom od 1,19 % zastupljena je unutar ostalih aktivnosti.

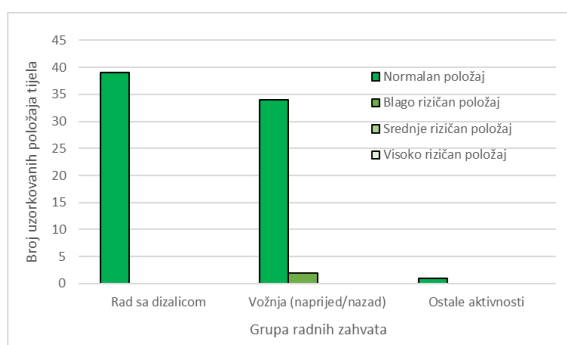


Slika 46. Broj uzorkovanih položaja tijela operatera harvestera prema OWAS metodi

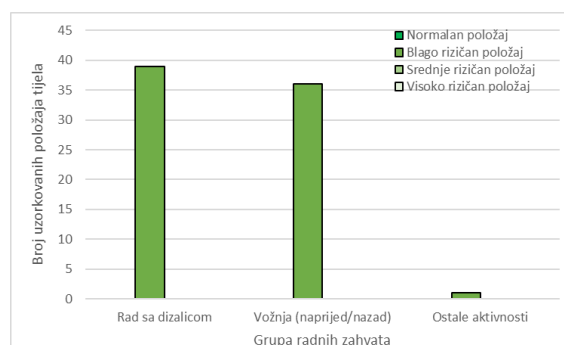


Slika 47. Broj uzorkovanih položaja tijela operatera harvestera prema REBA metodi

Analiza položaja tijela kod operatera forvardera (slika 48 i 49) provedena je unutar tri grupe radnih zahvata: rad sa dizalicom (N = 39), vožnja i/ili pomicanje naprijed/nazad (N = 36) te ostale aktivnosti (N = 1; zastoj na pomoćnom stovarištu zbog utovara kamiona). Rezultati analize prema OWAS metodi (slika 48) pokazuju da je jedini udio blago rizičnog položaja tijela (2,63 %) prisutan kod vožnje ili pomicanja sredstva rada naprijed/nazad iz razloga što operater sredstva rada kod kombinacije radnih zahvata utovara i pomicanja ne okreće sjedište. Kod grupe radnih zahvata rada s dizalicom (slika 48) normalan položaj tijela zastupljen je s 51,32 %, a kod vožnje ili pomicanja naprijed/nazad s 44,74 %. Kategorizacija rizika položaja tijela operatera forvardera prema REBA metodi (slika 49) pokazala je blago rizičan položaj tijela unutar sve tri grupe radnih operacija.



Slika 48. Broj uzorkovanih položaja tijela operatera forvardera prema OWAS metodi



Slika 49. Broj uzorkovanih položaja tijela operatera forvardera prema REBA metodi

1.2.4 Ekološki pokazatelji

Granulometrijski sastav tla

Uzorci tla u narušenom stanju uzeti na području istraživanih odsjeka obrađeni su u Ekološko – pedološkom laboratoriju, a dobiveni rezultati prikazani su u tablici 12.

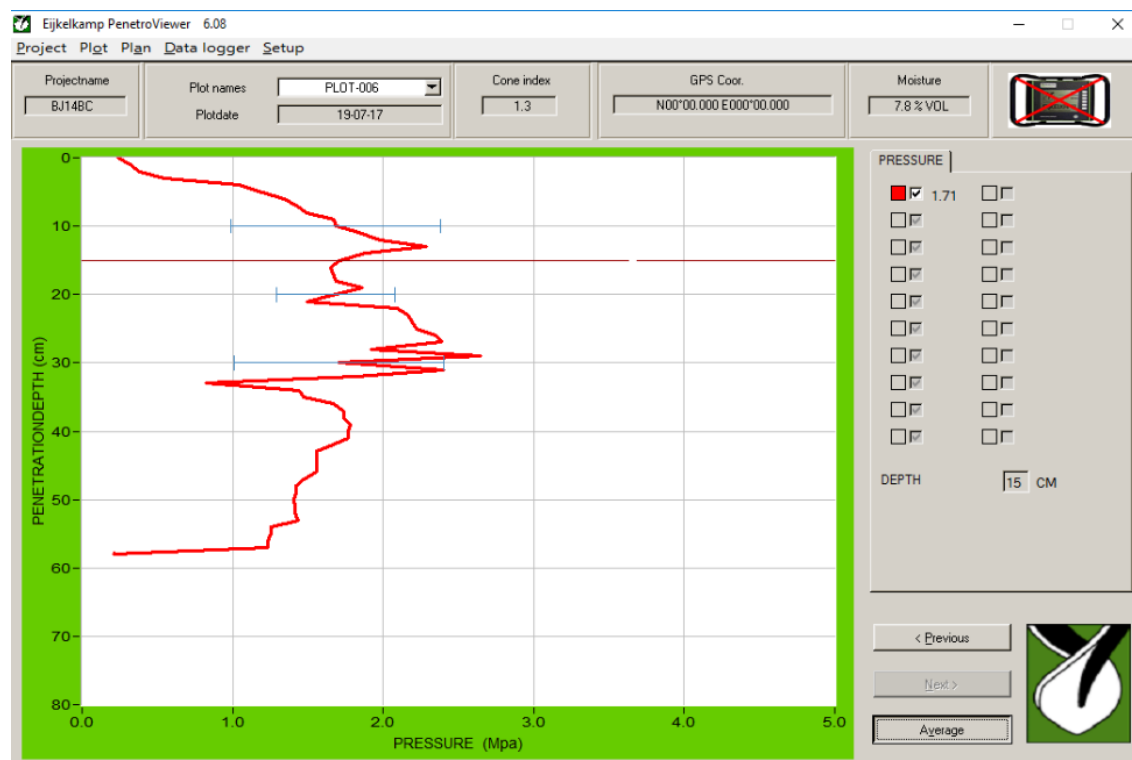
Teksturna oznaka tla na temelju dobivenih odnosa veličine čestica tla istraživanih radilišta je praškasta ilovača prema FAO (2006) klasifikaciji.

Tablica 12. Granulometrijski sastav tla

Oznaka uzorka	Krupni pijesak (2–0,2 mm)	Sitni pijesak (0,2–0,063 mm)	Krupni prah (0,063–0,02 mm)	Sitni prah (0,02–0,002 mm)	Glina (< 0,002 mm)	Teksturna oznaka
14 b 1-1	0,16	4,05	48,97	31,10	15,72	Praškasta ilovača
14 b 1-2	0,16	5,16	48,45	30,72	15,51	Praškasta ilovača
14 b 1-3	0,18	4,13	49,23	30,93	15,53	Praškasta ilovača
14 b 2-1	1,32	5,93	54,23	26,84	11,67	Praškasta ilovača
14 b 2-2	1,00	6,15	53,78	27,14	11,94	Praškasta ilovača
14 b 2-3	1,15	6,59	53,51	27,15	11,61	Praškasta ilovača
14 b 3-1	1,85	4,58	51,62	27,74	14,21	Praškasta ilovača
14 b 3-2	1,81	5,06	50,82	27,77	14,54	Praškasta ilovača
14 b 3-3	1,92	5,21	51,36	27,24	14,27	Praškasta ilovača

Nosivost tla

Za nosivosti tla, odnosno konusnog indeksa tla – *CI* na dubini tla od 15 cm (norma ASAE EP542 1999), koristio se digitalni penetrometar *Eijkelkamp Penetrologger* sa konusom površine presjeka kružne baze 2 cm² i vršnim kutem od 30°. Usporedno sa mjerenjima nosivosti tla mjerena je i vlažnost tla sa sondom koja je sastavni dio penetrometra. Ukupno je napravljeno 60 mjerenja nosivosti i vlažnosti tla. Mjerenja su obavljena na negaženom i gaženom tlu unutar jedva vidljivih kolotraga. Dobiveni rezultati (slika 50) pokazuju da prosječni konusni indeks – *CI* na istraživanom radilištu iznosi 1,71 MPa što znači da je tlo jako dobre nosivosti (iznad 1,0 MPa se smatra da tlo ima dobru nosivost). Razlog tako dobre nosivosti je upravo jako niska volumna vlažnost tla koja u je u prosjeku iznosila svega 7,8 %vol (slika 50) mjerena u njegovom površinskom dijelu.



Slika 50. Rezultati mjerenja penetrometrom

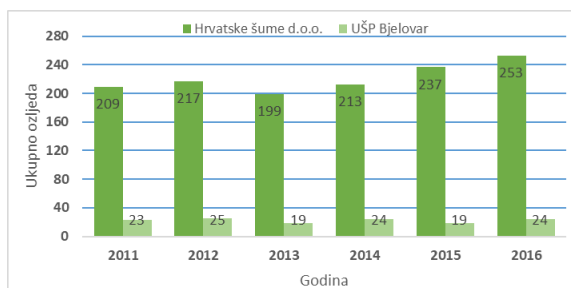
2. Rezultati istraživanja provedenih u prethodnom polugodištu

Pokazatelji razine sigurnosti u šumarstvu kod radova pridobivanja drva – studij slučaja UŠP Bjelovar

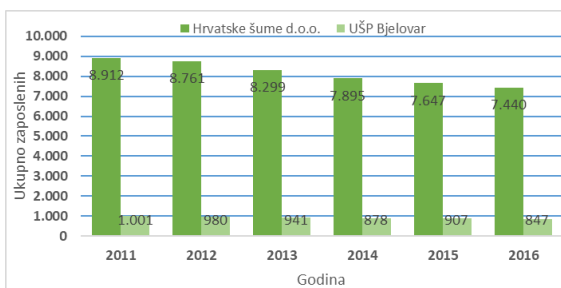
Radovi u šumarstvu, osobito radovi u procesu pridobivanja drva, idu u red fizički najzahtjevnijih radova među različitim gospodarskim djelatnostima. Pri tom se posebno misli na opterećenja kojima su radnici izloženi: energijska potrošnja, terenski i vremenski uvjeti rada, učestalost i težina povreda na radu, izloženost pri djelovanju vibracije, buke, plinova i ostalih štetnih čimbenika radnog okoliša. Osim što su fizički naporni radovi visoko rizični za zdravlje radnika, velika je vjerojatnost da će se šumski radnici u svom radnom vijeku jednom ili više puta ozlijediti ili oboljeti od profesionalne bolesti. Shodno navedenom, u ocjeni i analizi razine sigurnosti u pojedinoj djelatnosti koristi se više različitih pokazatelja, no dva najvažnija indeksa koja se koriste u prikazivanju nesreća, a prihvaćeni su od strane Međunarodne organizacije rada (ILO), su indeks frekvencije i indeks težine. Osim navedena dva pokazatelja, kao specifični pokazatelji razine sigurnosti u šumarskoj djelatnosti koristi se još: broj povreda na 1.000 zaposlenih, broj povreda na milijun m³ etata te količina etata na jednu povredu.

U okviru poduzeća HŠ d.o.o. Zagreb ozljede na radu evidentiraju se i prate prema postojećim zakonskim propisima. Prilikom svake ozljede radnika, čiji je poslodavac HŠ d.o.o. Zagreb, provode se propisani postupci prijave, uviđaja, izvješćivanja i sl. Svaka od 16 Uprava šuma u sklopu poduzeća HŠ d.o.o. Zagreb zadužena je za godišnje izvješće svojih radnika vezanih za povređivanje, uzrok povrede te ostale podatke. Osnovni uvjet unapređivanja sigurnosti i zdravlja radnika u šumarstvu, osobito radnika uključenih u direktnu proizvodnju, je posjedovanje svih relevantnih informacija koje su potrebne za razumijevanje, tumačenje i preveniranje detektiranih problema.

Broj povreda u pojedinoj organizacijskoj cjelini ide u red ključnih pokazatelja sigurnosti. Najčešće se iskazuje u apsolutnom iznosu kao godišnji broj povreda te kao relativni pokazatelj brojnosti povreda po ukupnom broju radnika (svi proizvodni i neproizvodni radnici) te po broju proizvodnih radnika iz razloga što velik udio režijskih zaposlenika može stvoriti krivu predodžbu o broju ozljeda. Proizvodni radnici su kritična kategorija i broj ozljeda ne treba povezivati s ukupnim brojem zaposlenih, već s onom skupinom na koju se odnose. Temeljem provedene deskriptivne analize (slika 51 i 52) možemo vidjeti da se broj zaposlenih u HŠ d.o.o. svake godine smanjuje, a broj ozljeda od 2013. godine poprima uzlazni trend. S druge strane, u sklopu UŠP Bjelovar (slika 51 i 52) trend smanjenja broja zaposlenih manje je izražen nego na razini poduzeća, a broj ozljeda godišnje ne pokazuje značajne ekstreme u promatranom periodu.



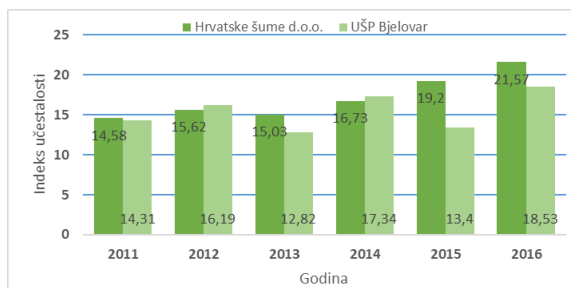
Slika 51. Trend kretanja ozljeda na radu u HŠ d.o.o. te UŠP Bjelovar



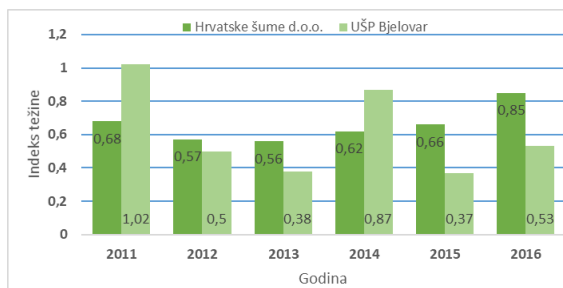
Slika 52. Trend kretanja broja zaposlenih u HŠ d.o.o. te UŠP Bjelovar

Prvi značajan pokazatelj **indeks učestalosti** (slika 53) predstavlja vrlo objektivan način utvrđivanja frekventnosti ozljeđivanja jer polazi od nepobitne činjenice da ozljede nastaju ovisno o riziku i efektivnom radnom vremenu. Efektivno radno vrijeme (EV) je definirano kao ukupan broj radnih sati provedenih na radu, bilo po vremenu ili učinku. Važno je istaknuti da u efektivno radno vrijeme ne ulaze sati zbog: (a) prekida rada, (b) godišnjih odmora ili blagdana, (c) stručnog obrazovanja, (d) bolovanja te (e) neopravdanih izostanaka. Indeks učestalosti prikazuje broj

nesreća na milijun radnih sati. Sukladno dobivenim pokazateljima na slici 52. vidljivo je da, u odnosu na HŠ d.o.o. kao sustav, UŠP Bjelovar u promatranom razdoblju bilježi manji broj nesreća na milijun radnih sati. Unutar šestogodišnjeg razdoblja (slika 53) HŠ d.o.o. u prosjeku imaju 17 ozljeda na milijun radnih sati godišnje, dok UŠP Bjelovar ima 15,5 ozljeda na milijun radnih sati godišnje.



Slika 53. Trend kretanja indeksa učestalosti u HŠ d.o.o. te UŠP Bjelovar

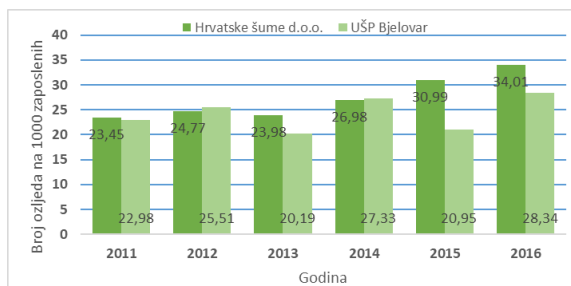


Slika 54. Trend kretanja indeksa težine u HŠ d.o.o. te UŠP Bjelovar

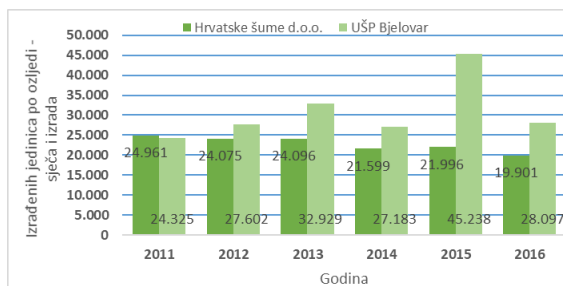
Drugi značajan pokazatelj **indeks težine** (slika 54) predstavlja broj izgubljenih radnih dana zbog nesreća na tisuću radnih sati. Navedenim indeksom se pokušava, putem gubitaka u radnom vremenu zbog povreda na radu, izraziti ekonomska tj. financijska dimenzija štete ili troška što ga ima poslovni sustav uslijed povrede radnika. Navedeno je značajno jer indeks učestalosti sam po sebi ne ukazuje na težinu (ozbiljnost) posljedica ozljeđivanja. Iz slikovnog prikaza 54, za promatrano razdoblje, vidljivo je da UŠP Bjelovar ima 2011. i 2014. značajno veći broj izgubljenih radnih dana u odnosu na poduzeće HŠ, dok je kod preostale četiri godine vrijednost navedenog pokazatelja manja.

Pokazatelj vezan za broj ozljeda na 1.000 zaposlenih (slika 55) ističe značajno odstupanje između UŠP Bjelovar i HŠ d.o.o. tek 2015. i 2016. godine (u prosjeku godišnje 8 ozljeda više na razini poduzeća HŠ u odnosu na UŠP Bjelovar). Unutar šestogodišnjeg razdoblja (slika 55) HŠ d.o.o. u prosjeku imaju 27,36 ozljeda na 1000 zaposlenih godišnje, dok UŠP Bjelovar ima 24,22 ozljeda na 1.000 zaposlenih.

Zakonitost nalaže da rizik od povreda u nekoj organizacijskoj jedinici raste s obujmom radne zadaće po pojedinom izvršitelju posla. Sukladno prethodno navedenom, specifični pokazatelji razine sigurnosti pri šumskom radu uzimaju u odnos broj povreda i obujma posla koji se u šumarstvu iskazuje kroz radnu zadaću godišnje sječe (etata) u m³. Kod usporedbe razine zaštite na radu mogu se primijeniti dva specifična pokazatelja (a) izrađeni m³ drva (etata) po 1 povredi te (b) broj povreda na izrađenih 1.000.000 m³. Pokazatelj izrađenih m³ drva po jednoj povredi nedvojbeno ide u prilog UŠP Bjelovar (slika 56). Unutar šestogodišnjeg razdoblja (slika 56) HŠ d.o.o. u prosjeku izrađuje 22.629 m³ po ozljedi godišnje, dok UŠP Bjelovar izrađuje 30.895 m³ po ozljedi godišnje.

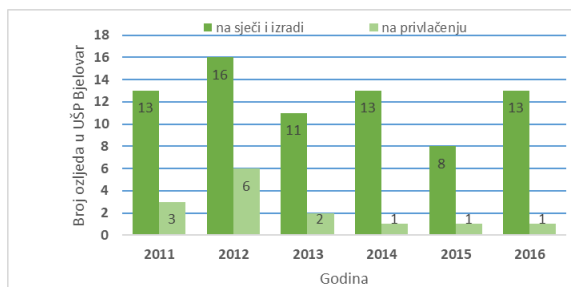


Slika 55. Trend kretanja broja ozljeda na 1000 zaposlenih u HŠ d.o.o. te UŠP Bjelovar

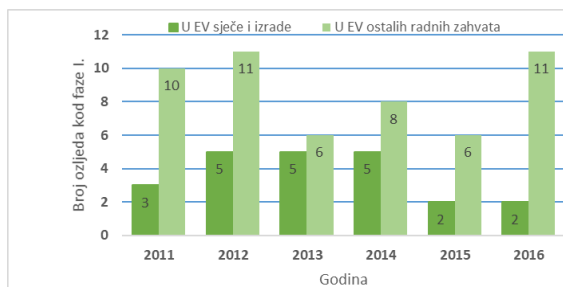


Slika 56. Trend kretanja izrađenih m³ po ozljedi u HŠ d.o.o. te UŠP Bjelovar

Detaljnija analiza kretanja broja ozljeda kod radova pridobivanja drva na području UŠP Bjelovar, za radni proces sječe i izrade te privlačenja, prikazana je na slici 57. Unutar promatranog razdoblja (slika 57) vidljivo je da je rizik od nastanka ozljede na radovima sječe i izrade mnogostruko već u odnosu na radove privlačenja drva. U okviru promatranog razdoblja (slika 57) UŠP Bjelovar je u prosjeku godišnje imala 12,3 ozljeda na radovima sječe i izrade te 2,3 ozljeda na radovima privlačenja drva, čime je potvrđena prisutnost višestrukog rizika kod ručno-strojnog rada.

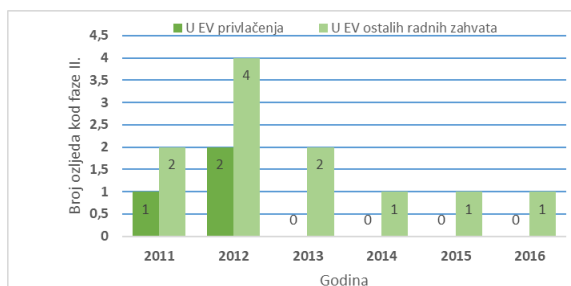


Slika 57. Trend kretanja broja ozljeda u UŠP Bjelovar kod faze I. i II.

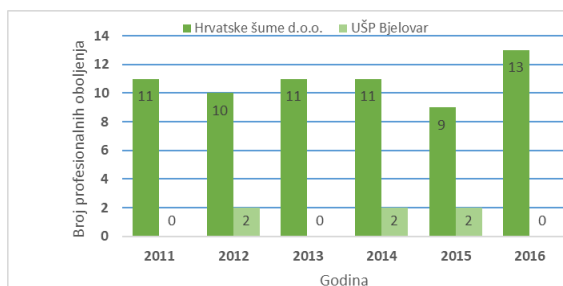


Slika 58. Trend kretanja broja ozljeda u UŠP Bjelovar kod faze I. spram radnih zahvata

Analiza strukture povređivanja po radnim zahvatima kod radova pridobivanja drva na području UŠP Bjelovar, za radni proces sječe i izrade te privlačenja, prikazana je na slici 58 i 59. Kod radnog procesa sječe i izrade drva (slika 58), u promatranom razdoblju, vidljivo je da se značajniji broj ozljeda događa u efektivnom radu kod ostalih radnih zahvata (u prosjeku godišnje 8,6 ozljeda) npr. uganuća kod kretanja radnika zbog klizavosti i zakrčenosti hodne površine, pad grane na radnika i sl. S druge strane, kod čistog efektivnog rada kada je motorna pila u pogonu u prosjeku je zabilježeno 3,6 ozljeda godišnje. Slična situacija povređivanja po radnim zahvatima prisutna je i kod privlačenja drva (slika 59) gdje je kod čistog efektivnog rada sa strojem (puna i/ili prazna vožnja) broj ozljeda u prosjeku 0,5 godišnje dok je u efektivnom radu kod ostalih radnih zahvata na privlačenja broj ozljeda u prosjeku 1,8 godišnje.



Slika 59. Trend kretanja broja ozljeda u UŠP Bjelovar kod faze II. spram radnih zahvata



Slika 60. Trend kretanja broja profesionalnih oboljenja u HŠ d.o.o. te UŠP Bjelovar

Profesionalne bolesti su najčešće uzrokovane jednim uzročnim čimbenikom radnog mjesta, a težina bolesti odgovara razini i duljini izloženosti, pa se profesionalne bolesti u pravilu pojavljuju nakon višegodišnje izloženosti štetnostima i naporima. Analizom trenda pojavnosti profesionalnih bolesti za promatrano razdoblje (slika 60) vidljivo je da se na razini poduzeća HŠ d.o.o. Zagreb u prosjeku evidentira 10,8 profesionalnih oboljenja godišnje, dok na razini UŠP Bjelovar evidentirana je u prosjeku 1 profesionalna bolest godišnje.

Rezultati istraživanja po svim dosad obrađenim 5E pokazateljima na primjeru obuhvaćenih sječina ukazuju na pogodnost primjene mehaniziranog sustava pridobivanja drva sortimentnom metodom (harvestera za sječu i izradu, a forvardera za izvoženje izrađenih sortimenata).

3. Diseminacija rezultata projekta

Tijekom izvještajnoga razdoblja članovi istraživačke skupine objavili su četiri znanstvena rada s rezultatima istraživanja koja su bila (su)financirana ovim Projektom:

- Đuka, A., D. Vusić, D. Horvat, M. Šušnjar, Z. Pandur, I. Papa, 2017: LCA Studies in Forestry – Stagnation or Progress? Croatian Journal of Forest Engineering 38 (2): 311–326.
http://www.crojfe.com/r/i/crojfe_38-2_2017/duka.pdf
- Poršinsky, T., A. Đuka, I. Papa, Z. Bumber, D. Janeš, Ž. Tomašić, T. Pentek, 2017: Kriteriji određivanja gustoće primarne šumske prometne infrastrukture – Primjeri najčešćih slučajeva. Šumarski list: znanstveno-stručno i staleško glasilo Hrvatskoga šumarskog društva 141 (11–12): 593–608.
<http://www.sumari.hr/sumlist/pdf/201705930.pdf>
- Papa, I., T. Pentek, D. Janeš, T. Šerić, D. Vusić, A. Đuka, 2017: Usporedba podataka prikupljenih različitim metodama terenske izmjere pri rekonstrukciji šumske ceste. Nova mehanizacija šumarstva 38(1): 1–14.
https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=283593
- Đuka, A., T. Pentek, T. Poršinsky, D. Janeš, M. Starčević, I. Papa, 2017: Otvorenost gospodarske jedinice Belevine, NPŠO Zalesina, i prijedlog daljnje otvaranja. Nova mehanizacija šumarstva 38(1): 15–32.
https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=283594

Pet primjeraka svakoga rada nalaze se u prilogu ovoga izvješća. Rezultati prezentirani u navedenim radovima, iako nisu posebno navedeni u ovom izvješću, predstavljaju sastavni dio ovoga izvješća.

Projektom je tijekom izvještajnoga razdoblja (su)financirano i sudjelovanje članova istraživačke skupine na dva međunarodna savjetovanja:

- Međunarodno znanstveno savjetovanje »Šumsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«, Mavrovo, Makedonija, 13. – 15. rujna 2017.
- FORMEC »Innovating the competitive edge: from research to impact in the forest value chain«, Braşov, Rumunjska, 25. – 29. rujna 2017.

Sažeci referata dostupni su u časopisu Nova mehanizacija šumarstva 38(1):

- https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=283608
- https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=283609

PLANIRANE AKTIVNOSTI U 2018. GODINI

Tijekom sljedećeg izvještajnog razdoblja (siječanj 2018. do lipanj 2018.) planira se nastavak terenskih istraživanja glavnoga pokusa u cilju prikupljanja podataka neophodnih za vrednovanje ekoloških pokazatelja, kao i prikupljanje preostalih podataka nužnih za provođenje Analize utjecaja na okoliš istraživanih sustava pridobivanja drva putem LCA analize.

Nakon prikupljanja podataka terenskih istraživanja planira se intenzivan rad na obradi navedenih podataka, dovršetak obrada i analiza započelih u ovom izvještajnom razdoblju te provedene aktivnosti u cilju postizanja rezultata planiranih radnim planom Projekta.

Značajan angažman članova istraživačkog planira se i na polju diseminacije rezultata Projekta. U cilju prezentacije rezultata i spoznaja proizašlih provedbom Projekta široj stručnoj javnosti planira se prijava tema u okviru Programa stručnog usavršavanja članova Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije za 2018. godinu. Planira se i nastavak aktivnosti vezanih za sudjelovanje na međunarodnim i domaćim stručnim i znanstvenim skupovima te objave stručnih i znanstvenih članaka.

U Zagrebu, 22. siječnja 2018. godine

Voditelj projekta:

doc. dr. sc. Dinko Vusić

PRILOG: Ovjereno financijsko izvješće
Separati radova