



# Određivanje položaja centra mase radnika pri radu motornom pilom pomoću Xsens odijela za snimanje pokreta

Matija Landekić, Matija Bakarić, Zdravko Pandur, Marin Bačić

## Nacrtač – Abstract

Unatoč razvoju mehanizacije i primjeni visokih tehnologija u sustavima pridobivanja drva ručno-strojni rad motornom pilom i dalje prevladava u Jugoistočnoj Europi, ali i šire. Biomehaničko opterećenje šumskog radnika u takvim operacijama kategorizirano je kao »vrlo veliko«. Procjena centra mase pritom ima važnu ulogu u razumijevanju izloženosti šumskih radnika posturalnim i profesionalnim rizicima, bilo kao dio cjelokupnoga procesa rada ili kao dio pojedinoga elementa radne tehnike. U skladu s tim cilj ovoga istraživanja sastoji se u određivanju položaja centra mase radnika s motornom pilom s obzirom na tri ključna radna elementa pri sječi stabala (izvođenje zasjeka, izvođenje završnoga reza i zabijanje klina sjekirrom) te njegove povezanosti s osobnim i profesionalnim čimbenicima. Za mjerenje položaja centra mase ( $n = 28$  šumskih radilišta, što ujedno čini 28 uzorkovanih radnika) korišteno je odijelo za snimanje pokreta Xsens MVN Link kao vrhunska tehnologija koja omogućuje prikupljanje podataka u stvarnim terenskim uvjetima. Za analizu snimljenih podataka primijenjene su deskriptivne i inferencijalne statističke metode. Promatrani profesionalni čimbenici (metoda rada, model gospodarenja i prsni promjer stabla) i osobni čimbenici (životna dob, visina i indeks tjelesne mase) rezultirali su statistički značajnom razlikom u pogledu izmjerenih vrijednosti centra mase. Na osnovi svega navedenoga daljnja kinematička istraživanja u šumarstvu trebala bi pridonijeti jačemu uključivanju rješenja Industrije 5.0 u sječu i izradu drva, posebno u ručno-strojni rad, primjenom tehnologija virtualne stvarnosti tijekom obuke radnika ili primjenom najnovijih tehnoloških rješenja u smislu jačanja ljudskoga rada s jedne strane te povećanja sigurnosti i zaštite zdravlja s druge strane.

*Ključne riječi:* šumarstvo, šumski radnik sjekač, obaranje stabala, Xsens, odijelo za snimanje pokreta, centar mase

## 1. Uvod – Introduction

Bez obzira na razvoj šumarske mehanizacije u posljednja tri desetljeća te na dostupnost širokoga spektra mogućih rješenja Industrije 5.0, sječa i izrada drva u Jugoistočnoj Europi, ali i drugdje, i dalje se primarno obavljaju ručno-strojno motornim pilama lančanicama. Na temelju rezultata mnogih istraživanja (Blombäck 2002, Gejdoš i dr. 2019, Garland i dr. 2020, Landekić i dr. 2021) svakodnevni rad u šumarskoj proizvodnji smatra se jednim od fizički najzahtjevnijih i najopasnijih zanimanja u svijetu. Posljedično, današnje šumarstvo stalno se suočava s izazovom osiguranja kvalificirane i održive radne snage, a nedostatak šumskih radnika postaje sve

češći problem u europskom i svjetskom šumarstvu (Axelsson 1998, Salminen i dr. 1999, Cacot i dr. 2015, Perpiñá Castillo i dr. 2019, UNECE/FAO 2020).

Svakodnevne aktivnosti na pridobivanju drva izlažu šumske radnike širokomu spektru rizičnih čimbenika, poput podizanja teških tereta, zauzimanja dugotrajnih nepovoljnih položaja tijela, ponavljajućih pokreta, izostanka stanki i odmora i sl. Uz česte nesreće na radu i brojne profesionalne bolesti sve to može uzrokovati značajne mišićno-koštane poremećaje (MSD) kod radnika (EU-OSHA 2018, Landekić i dr. 2023a). Prema Masci i dr. (2022) stručna istraživanja u šumarstvu zahtijevaju inovativne metodologije za procjenu anatomske i kardiova-

skularnih parametara, posebno u izazovnim okolišnim uvjetima rada. Usmjeravanje pozornosti na biomehaniku tijela temeljno je za intervencije u dizajnu rada da bi se smanjio fiziološki napor i moguće ozljede profesionalnih radnika motornom pilom.

Ravnoteža i držanje tijela imaju ključnu važnost ne samo za radnu tehniku već i za normalan i zdrav život radnika. Ciljana istraživanja vezana uz posturalnu kontrolu u pridobivanju drva, posebice kod ručno-strojnih operacija, trebaju istražiti odnos između centra mase (CM) – težišta – uvjeta ravnoteže, i sve to s fokusom na radnu tehniku šumskih radnika. Iako je težište tijela konceptualno potpuno drugačiji pojam od centra mase, prema Dželaliji i Rausavljeviću (2003) ubrzanje pri slobodnom padu ima približno jednake vrijednosti u svim točkama određenoga tijela i može se izraziti kao položaj težišta jednak položaju centra mase danoga tijela.

U biomehaničkim istraživanjima ljudsko se tijelo promatra kao skup povezanih krutih segmenata. Masa tih segmenata, položaj njihovih težišta/centra mase i druga svojstva mogu se izraziti numerički (Dželalija i Rausavljević 2003). Procjena kretanja ljudskoga CM ključna je u ergonomiji (Huang i dr. 2020, Conforti i dr. 2020), sportu (Pavei i dr. 2017), kliničkoj praksi (Maki i McIlroy 1996, Najafi i dr. 2010) itd., jer pruža kvantitativne podatke o riziku od posturalnoga disbalansa i oštećenja kod ljudi. Određivanje kretanja CM šumskih radnika u terenskim uvjetima i realnom vremenu, sa stajališta tehnike rada, omogućuje praćenje deficita posturalne kontrole i potencijalnu prevenciju neželjenih stanja poput pojave lakših ili težih ozljeda pri radu. U skladu s tim cilj je ovoga rada istražiti položaj centra mase (CM) radnika s motornom pilom s obzirom na tri ključna radna elementa pri sječi stabala (izvođenje zasjeka, izvođenje završnoga reza i zabijanje klina sjekirom) te utvrditi njegovu povezanost s osobnim i profesionalnim čimbenicima radnika.

## 2. Materijal, metode i ciljevi – *Materials, methods and aims*

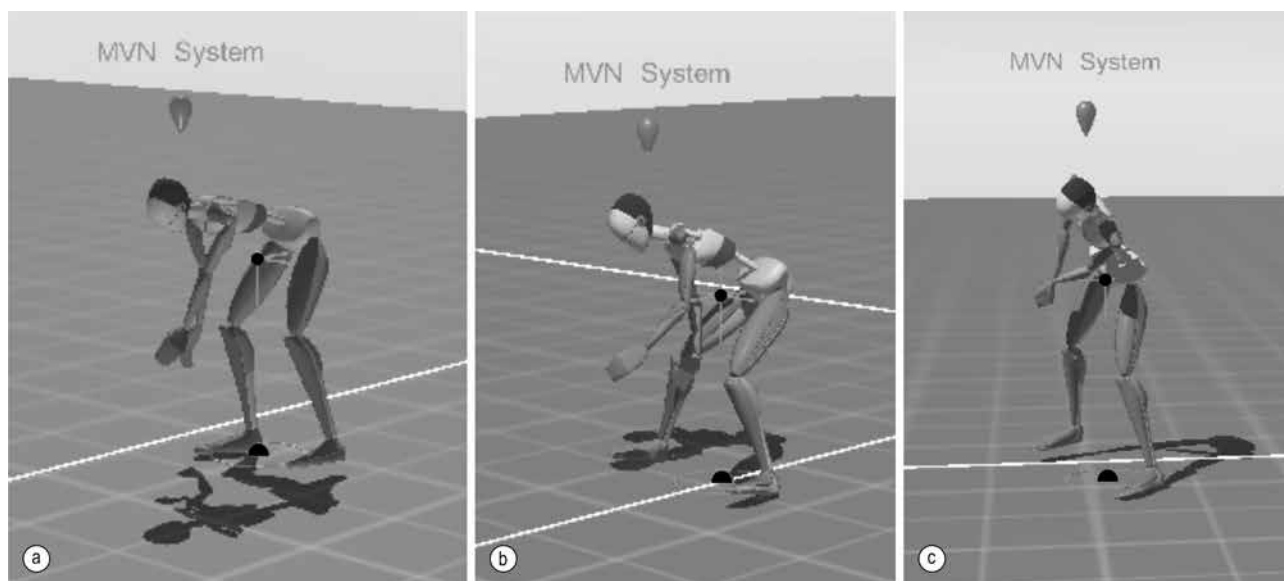
Terensko mjerenje među radnicima sjekačima, zaposlenim kod privatnoga poduzetnika ili državnoga šumarskoga poduzeća Hrvatske šume d.o.o., provedeno je tijekom drugoga i trećega kvartala 2022. godine, i to na 28 šumskih radilišta širom Republike Hrvatske. Za mjerenje CM šumskih radnika korišten je namjerni (kvotni) uzorak zbog zdravstvenih razloga i tehničkih ograničenja mjerne tehnike i opreme. Izbor ispitanika na obuhvaćenim šumskim lokalitetima uglavnom se svodio na jednoga rad-

nika koji je bio voljan sudjelovati u istraživanju, a upravo zbog zdravstvenih razloga (prenošenje COVID-19 ili virusa hepatitisa), tj. nošenja odijela od likre, korištenoga za snimanje pokreta, na gotovo golom tijelu ispod radnoga odijela. Drugo ograničenje odnosilo se na antropometrijske mjere (visina, širina prsa i sl.) radnika koji su mogli obući odijelo na kojem se nalaze mjerni senzori. Prije prikupljanja podataka svi radnici odabrani za snimanje primili su informaciju o svrsi istraživanja i pristali su sudjelovati u mjeranju.

### 2.1 Mjerenje centra mase, obrada podataka i statistička analiza – *Center of Mass measurement, data processing, and statistical analysis*

Vrijednosti centra mase, s obzirom na tri radna elementa u operacijama obaranja stabla (slika 1), izmjerene su pomoću Xsens MVN Link odijela za snimanje pokreta i analizirane primjenom MVN BIOMECH softvera® (Xsens, MVN Analyzer Pro, verzija 2021.2.0, Enschede, Nizozemska). Odijelo za snimanje pokreta je sustav jednostavan za upotrebu pri snimanju cijeloga ljudskoga tijela. Sastoji se od 17 minijaturnih inercijskih 3DOF senzora za praćenje orijentacije (MTx) (svaki ima 3D žiroskop, 3D akcelerometar i 3D magnetometar). Brzina uzorkovanja postavljena je na 240 HZ za optoelektronički sustav. S obzirom na mjerenje i obradu podataka kao dio dobivenoga kinematičkoga modela ljudskoga tijela, procjena centra mase u ovom istraživanju temelji se na radu Zatsiorskyja i dr. (1990) i Dempstera (1955).

Ukupno 28 radnika sjekača izmjereno je pri izvođenju operacija obaranja stabla s opisanim Xsens MVN Link odijelom za snimanje pokreta i istodobno snimljeno pomoću videokamere GoPro Hero 8. Antropometrijski parametri radnika s motornom pilom koji su sudjelovali u istraživanju ( $n = 28$ ) dostupni su u istraživanju Landekića i dr. (2023b). Kalibracijsko je mjerenje provedeno pomoću N poze (Xsens Technologies 2022), a obrada je podataka obavljena s obzirom na izmjerene antropometrijske parametre uzorkovanih radnika. Ukupna obrada podataka obavljena je *off-line*. Što se tiče osobnih čimbenika, prema dobi radnika formirane su dvije skupine (skupina 1 = 39 godina ili manje, i skupina 2 = 40 godina ili više). Visina ispitanika također je definirala dvije zasebne skupine (skupina 1 = 179 cm ili niže, i skupina 2 = 180 cm ili više), a indeks tjelesne mase također je korišten za razlikovanje dviju skupina radnika (skupina 1 = 24,99 ili manje, i skupina 2 = od 25 do 29,99). S obzirom na profesionalne



**Slika 1.** Prikaz centra mase avatara iz softvera MVN Analyzer Pro za tri radna elementa u operacijama obaranja stabla (crna točka prikazuje položaj subjekta CM) – a) izrada zasjeka, b) izrada završnoga reza, c) zabijanje klina sjekirom

**Fig. 1** Avatar CoM display from MVN Analyzer Pro for three work elements in tree felling operations (black dot shows the position of the subject's CM) – a) undercut, b) final cut, c) hammering a wedge with an axe

čimbenike sustav gospodarenja šumama obuhvatio je jednodobne i preborne šume. Primijenjena metoda sječe i izrade bila je poludeblovna ili sortimentna. Prsni promjer stabala razlučio je dvije pojedinačne skupine stabala (skupina 1 = 35 cm ili manje, i skupina 2 = 36 cm ili više). U procesu mjerenja CMposX varijabla predstavlja horizontalno odstupanje CM radnika s motornom pilom u  $x$ -osi (naprijed i natrag), a CMposZ varijabla predstavlja vertikalno odstupanje CM radnika s motornom pilom u  $z$ -osi (gore i dolje).

Za svaku je varijablu proveden odgovarajući test normalnosti distribucije i homogenosti varijance (Shapiro-Wilkov i Levineov test). Na temelju njihova nalaza dodatna je obrada podataka uključila provođenje  $t$ -testova ili alternativnih neparametarskih Mann-Whitneyjevih  $u$ -testova za utvrđene vrijednosti CM, a u vezi s tri ključna radna elementa u operacijama obaranja stabala. Zajedno s utvrđivanjem pozicije CM cilj je istraživanja bio ispitati jesu li uzorkovani radnici s motornom pilom (parametri CM) statistički slični ili različiti s obzirom na promatrane osobne i profesionalne čimbenike.

### 3. Rezultati – Results

Deskriptivne vrijednosti za radni staž radnika sjekača te dob promatranih radnika dobro odgovaraju općoj populaciji šumskih radnika u skladu

s prijašnjim provedenim opsežnim istraživanjima (Landekić 2013, Landekić i dr. 2015). Za razliku od toga vrijednosti koje se odnose na visinu, masu i indeks tjelesne mase (BMI) (tablica 1) nešto su niže poglavito zbog ograničenja pri oblačenju i nošenju odijela od likre s mjernim senzorima.

**Tablica 1.** Opći podaci o radnicima sjekačima uključenim u kinematičko istraživanje

**Table 1.** General information on chainsaw workers participating in kinematic study

Deskriptivne varijable Descriptive variables	Prosjeak Mean	St. devijacija Std. deviation	Min	Max
Visina, cm – Height, cm	178,96	5,78	168,00	189,00
Težina, kg – Weight, kg	85,18	9,73	59,00	100,00
Životna dob, godine – Age, years	35,00	9,81	21,00	56,00
Indeks tjelesne mase – Body Mass Index	26,56	2,52	20,42	29,75
Radno iskustvo, godine Working experience, years	8,63	6,79	0,30	24,00

U prosječnim iznosima dobivenim u mjerenjima (tablica 2), odnosno aritmetičkoj sredini i medijani za osobne čimbenike kod promatrana tri radna elementa prema varijabli CMposX (horizontalno odstupanje naprijed i nazad po  $x$ -osi), manje i nega-

tivne vrijednosti utvrđene su u prvoj skupini ispitanika (39 godina ili manje, 179 cm ili niže, BMI 24,99 ili manje) u odnosu na drugu skupinu ispitanika u kojoj su vrijednosti pokazatelja veće i koje imaju pozitivan predznak (tablica 2). Što se tiče varijable CMposZ (vertikalno odstupanje gore i dolje po z-osi), postignute srednje vrijednosti (tablica 2) imaju pozitivan predznak i pokazuju malu brojčanu razliku između dviju uspoređivanih skupina prema osobnim čimbenicima (dob, visina i BMI).

S obzirom na varijable CMposX i CMposZ Mann-Whitneyjev *u*-test je rezultirao statistički značajnom razlikom u svim promatranim skupinama prema osobnim čimbenicima (dob, visina i BMI),

osim varijable CMposZ za skupinu BMI (tablica 3). Na radnim elementima EWT1 i EWT2, prema varijabli CMposX, mlađi sjekači s normalnim BMI praktiraju rad u dubokom pretklonu češće od starijih i viših radnika koji imaju prekomjernu vrijednost BMI (tablice 2 i 3). Za EWT3 (zabijanje klina sjekirrom), prema varijabli CMposX, mlađi i niži radnici s normalnim BMI češće rade u naprijed pognutom položaju nego druga promatrana skupina sjekača (tablice 2 i 3). U varijabli CMposZ, vezano uz izvođenje zasjeka (EWT 1), mlađi radnici sjekači s normalnim BMI imali su nižu prosječnu vrijednost CM na *y*-osi (tablice 2 i 3). Za element EWT2 (izvođenje završnoga reza) stariji i niži radnici s normalnim BMI imali su

**Tablica 2.** Deskriptivne vrijednosti CM za osobne čimbenike kod tri radna elementa u operacijama obaranja stabala

**Table 2** CM descriptive values for personal factors versus three work elements in tree felling operations

Varijabla Variable	Životna dob – Age				Visina – Height				Indeks tjelesne mase – BMI			
	39 godina ili manje 39 years or less		40 godina ili više 40 years or more		179 cm ili manje 179 cm or lower		180 cm ili više 180 cm or taller		24,99 ili manje 24.99 or less		od 25 do 29,99 from 25 to 29.99	
	M (Md)	N	M (Md)	N	M (Md)	N	M (Md)	N	M (Md)	N	M (Md)	N
EWT1 - CMposX	-0,7396 (-1,4283)	231331	3,2499 (0,2756)	70666	-0,4273 (0,0328)	171516	1,0105 (-1,2155)	130481	-1,6209 (-0,7770)	75757	0,8016 (0,0453)	226240
EWT1 - CMposZ	0,9320 (0,9447)	231331	0,9384 (0,9276)	70666	0,9272 (0,9278)	171516	0,9417 (0,9629)	13481	0,9169 (0,9420)	75757	0,9391 (0,9406)	226240
EWT2 - CMposX	-0,6483 (-0,4103)	159995	2,5651 (0,6433)	71693	-0,6476 (-0,4295)	145839	2,0341 (-0,1439)	85849	-1,8952 (-1,7001)	54741	1,0395 (-0,0998)	176947
EWT2 - CMposZ	0,9066 (0,9221)	159995	0,9140 (0,9299)	71693	0,9138 (0,9256)	145839	0,9007 (0,9201)	85849	0,9017 (0,9400)	54741	0,9111 (0,9218)	176947
EWT3 - CMposX	-0,1246 (-0,2876)	56705	11,0189 (20,4938)	8134	-0,4057 (-0,3590)	51914	8,0170 (4,4017)	12925	-3,7595 (-3,7247)	12403	2,4638 (1,6742)	52436
EWT3 - CMposZ	0,9843 (0,9929)	56705	0,9546 (0,9560)	8134	0,9747 (0,9853)	51914	1,0043 (1,0185)	12925	0,9537 (0,9599)	12403	0,9869 (0,9972)	52436

M – srednja vrijednost/mean; Md – medijana/median; EWT1 – izvođenje zasjeka/performing undercut; EWT2 – izvođenje konačnoga reza/performing final cut; EWT3 – zabijanje klina sjekirrom/hammering a wedge with an axe

**Tablica 3.** Rezultati Mann-Whitneyjeva *u*-testa za položaj CM sjekača s obzirom na osobne čimbenike

**Table 3** Results of Mann-Whitney U test for chainsaw worker CM position regarding personal factors

Varijabla Variable	Mann-Whitney <i>u</i> -test					
	Životna dob – Age		Visina – Height		Indeks tjelesne mase – BMI	
	Z-vrijednost Z-value	*p-vrijednost *p-value	Z-vrijednost Z-value	*p-vrijednost *p-value	Z-vrijednost Z-value	*p-vrijednost *p-value
EWT1 - CMposX	-141,728	0,00	10,221	0,00	-106,708	0,00
EWT1 - CMposZ	26,186	0,00	-82,437	0,00	0,455	0,65
EWT2 - CMposX	-98,436	0,00	-72,904	0,00	-145,115	0,00
EWT2 - CMposZ	-15,971	0,00	12,408	0,00	11,460	0,00
EWT3 - CMposX	-82,288	0,00	-115,945	0,00	-151,356	0,00
EWT3 - CMposZ	23,190	0,00	-48,432	0,00	-49,344	0,00

EWT1 – izvođenje zasjeka/performing undercut; EWT2 – izvođenje konačnoga reza/performing final cut; EWT3 – zabijanje klina sjekirrom/hammering a wedge with an axe  
\* vrijednosti su značajne pri  $p < 0,01$  / values are significant at  $p < 0.01$

višu prosječnu vrijednost CM na  $y$ -osi (tablica 2 i 3). Što se tiče EWT3, kod mlađih i viših radnika s prekomjernom tjelesnom težinom zabilježena je također niža prosječna vrijednost CM na  $y$ -osi (tablica 2 i 3).

Za poludeblovnu metodu sječe i izrade kod stabala manjih prsnih promjera (35 cm ili manje), u oba sustava gospodarenja, dobivene su prema CMposX varijabli niže i negativne srednje vrijednosti za radne elemente EWT1 i EWT2 (tablica 4). Za element radne tehnike EWT3 dobivene su veće i pozitivne vrijednosti medijane u jednodobnom sustavu gospodarenja s primjenom sortimentne metode sječe i izrade većih stabala (prсни promjer > 36 cm). S obzirom na varijablu CMposZ srednje vrijednosti i me-

dijane u sva tri uspoređivana elementa radne tehnike imaju pozitivan predznak, a iznosi su bliskih numeričkih vrijednosti (tablica 4).

S obzirom na CMposX i CMposZ varijable Mann-Whitneyjev  $u$ -test je, prema profesionalnim čimbenicima, rezultirao statistički značajnom razlikom u svim uspoređivanim skupinama (tablica 5). Usporedbom srednjih vrijednosti i medijane prema CMposX varijabli, kod sva tri elementa radne tehnike, veće su vrijednosti dobivene pri jednodobnom sustavu gospodarenja s primjenom sortimentne metode rada na sječi stabala većih prsnih promjera. Za varijablu CMposZ ističu se pozitivne veće srednje vrijednosti prvoga radnoga elementa EWT1

**Tablica 4.** Deskriptivne vrijednosti CM za profesionalne čimbenike kod tri radna elementa u operacijama obaranja stabala

**Table 4** CM descriptive values for occupational factors versus three work elements in tree felling operations

Varijabla Variable	Sustav gospodarenja Management system				Metoda sječe i izrade Felling & processing method				Prсни promjer stabla Tree diameter at breast height			
	Jednodobni Even-aged		Preborni Selective		Sortimentna Cut-to-length		Poludeblovna Half-tree		35 cm ili manje 35 cm or smaller		36 cm ili više 36 cm or larger	
	M (Md)	N	M (Md)	N	M (Md)	N	M (Md)	N	M (Md)	N	M (Md)	N
EWT1 - CMposX	0,1881 (-0,4331)	224859	0,2110 (-0,4833)	77138	1,5376 (0,3487)	160016	-1,3204 (-1,4675)	141981	-2,1564 (-1,6563)	67487	0,8703 (0,2682)	234510
EWT1 - CMposZ	0,9197 (0,9298)	224859	0,9736 (0,9838)	77138	0,9486 (0,9438)	160016	0,9165 (0,9367)	141981	0,9232 (0,9655)	67487	0,9365 (0,9350)	234510
EWT2 - CMposX	0,5723 (-0,1923)	160228	-0,1611 (-0,2409)	71460	1,8912 (0,3544)	115128	-1,1801 (-0,9600)	116560	-1,6481 (-0,3009)	48233	0,8704 (-0,1834)	183455
EWT2 - CMposZ	0,8941 (0,9013)	160228	0,9420 (0,9553)	71460	0,91066 (0,9156)	115128	0,9072 (0,9281)	116560	0,8443 (0,8660)	48233	0,9259 (0,9349)	183455
EWT3 - CMposX	1,5859 (0,5187)	48936	0,3114 (0,1622)	15903	1,8862 (1,5439)	56184	-2,7055 (-3,4441)	8655	-4,6322 (-5,6543)	5202	1,7884 (0,7701)	59637
EWT3 - CMposZ	0,9733 (0,9870)	48936	1,0029 (1,0088)	15903	0,9831 (0,9936)	56184	0,9641 (0,9746)	8655	0,9625 (0,9708)	5202	0,9822 (0,9927)	59637

M – srednja vrijednost/mean; Md – medijana/median; EWT1 – izvođenje zasjeka/performing undercut; EWT2 – izvođenje konačnoga reza/performing final cut; EWT3 – zabijanje klina sjekrom/hammering a wedge with an axe

**Tablica 5.** Rezultati Mann-Whitneyjeva  $u$ -testa za položaj CM sjekača s obzirom na profesionalne čimbenike

**Table 5** Results of Mann-Whitney U test for chainsaw worker CM position regarding occupational factors

Varijabla Variable	Mann-Whitney $u$ -test					
	Sustav gospodarenja Management system		Metoda sječe i izrade Felling & processing method		Prсни promjer stabla Tree diameter at breast height	
	Z-vrijednost Z-value	*p-vrijednost *p-value	Z-vrijednost Z-value	*p-vrijednost *p-value	Z-vrijednost Z-value	*p-vrijednost *p-value
EWT1 - CMposX	-72,962	0,00	140,474	0,00	-171,837	0,00
EWT1 - CMposZ	-117,224	0,00	40,118	0,00	34,366	0,00
EWT2 - CMposX	-5,380	0,00	134,913	0,00	-88,318	0,00
EWT2 - CMposZ	-141,671	0,00	-10,368	0,00	-140,516	0,00
EWT3 - CMposX	-14,720	0,00	87,129	0,00	-100,645	0,00
EWT3 - CMposZ	-50,319	0,00	27,134	0,00	-14,623	0,00

EWT1 – izvođenje zasjeka/performing undercut; EWT2 – izvođenje konačnoga reza/performing final cut; EWT3 – zabijanje klina sjekrom/hammering a wedge with an axe  
\* vrijednosti su značajne pri  $p < 0,01$  / values are significant at  $p < 0,01$

dobivene za preborni sustav gospodarenja i poludeblovnu metodu sječe i izrade manjih stabala (tablica 5). Za radni element izrade konačnoga reza (EWT2) pozitivne veće srednje vrijednosti dobivene su u prebornom sustavu gospodarenja s primjenom poludeblovne metode rada i u obaranju većih stabala. U trećem radnom elementu (EWT3) više prosječne vrijednosti postignute su kod sortimentne metode rada i sječe debljih stabala.

#### 4. Rasprava i zaključci – Discussion and conclusions

U biomehaničkim istraživanjima ljudsko se tijelo promatra kao skup povezanih krutih segmenata, a centar mase i druga svojstva mogu se izraziti brojčano. Ljudi/radnici su bića na dvije noge, što automatski ometa i otežava balansiranje njihova položaja jer su težište i centar mase tijela relativno visoko u odnosu na tlo. Sposobnost održavanja ravnoteže u statičkim ili dinamičkim uvjetima vrlo je važna za uspješno ostvarivanje brojnih ljudskih aktivnosti u svakodnevnom životu (Tkalčić 1987), jednako kao i specifičnih radnih aktivnosti poput sječe i izrade drvnih sortimenata na šumskim radilištima.

Cilj je ovoga istraživanja bio istražiti putanju centra mase (CM) radnika sjekača s obzirom na tri ključna radna elementa pri sječi stabala te utvrditi njezinu povezanost s odabranim osobnim i profesionalnim čimbenicima. U šumarstvu praktički nema ciljanih kinematičkih istraživanja koja analiziraju položaj i kretanje CM radnika te istražuju njihovu povezanost s osobnim i profesionalnim čimbenicima uzorkovanih radnika koji rade svakodnevno s motornom pilom. Vežano uz promatrane osobne čimbenike, prilikom izrade zasjeka (EWT1) i konačnoga reza (EWT2), mlađi sjekači s normalnim indeksom tjelesne mase (BMI) češće rade u dubokom pretklonu u odnosu na starije i više radnike koji imaju prekomjerne BMI vrijednosti. Također, pri izvođenju konačnoga reza stariji i niži radnici s normalnim BMI imali su nižu prosječnu vrijednost CM na  $y$ -osi (CMposZ), što je u skladu s nalazima Landekića i dr. (2023a) o vertikalnom odstupanju CM u odnosu na iskustvo rada s motornom pilom. U analizi rezultata istraživanja za odabrane profesionalne čimbenike veće vrijednosti CMposX varijable (horizontalno odstupanje naprijed i nazad po  $x$ -osi) dobivene su pri jednodobnom sustavu gospodarenja šumama te primjeni sortimentne metode rada na sječi i izradi većih stabala. U ovom istraživanju to znači da je položaj CM radnika više nagnut prema naprijed na  $x$ -osi kod izvođenja sva tri radna elementa (veća

vrijednost pozitivnoga ili negativnoga predznaka znači veće odstupanje radnika od njegove neutralne N-poze). S obzirom na CMposZ varijablu veće su vrijednosti dobivene kod prebornoga gospodarenja šumama te primjene poludeblovne metode sječe i izrade. U ovom slučaju viša vrijednost znači manje vertikalno odstupanje CM, tj. manje rada u položaju dubokoga pretklona, što iskustveno možemo povezati s mikrokonfiguracijom terena gdje se povremeno element izrade zasjeka i/ili dovršnoga reza radi u uspravnom položaju do visine ramena sjekača.

Pri tumačenju rezultata ovoga istraživanja potrebno je uzeti u obzir određena ograničenja. U budućim mjerenjima uzorak radnika trebao bi se sastojati od većega broja sudionika. Zatim, mikrokonfiguracija terena oko stabla koje se obara također može imati utjecaj na vrijednosti CM dobivene pri izvođenju sva tri elementa radne tehnike. I zadnje, brojčane vrijednosti iz korištenoga programskoga rješenja trebalo bi povezati s vizualnom izvedbom kretanja pojedinoga elementa radne tehnike te u njihovo ocjenjivanje (horizontalni nagib/otklon u  $x$ -osi ili vertikalno odstupanje u  $z$ -osi) uključiti reprezentativan broj istraživača koji se bave kineziologijom rada.

#### Zahvala – Acknowledgments

Istraživanje je financirala Hrvatska zaklada za znanost u sklopu projekta »Povećanje konkurentnosti šumarskoga sektora kroz razvoj kulture sigurnosti (ForSaf2024)«, broj projekta IP-2020-02-7637.

#### 5. Literatura – References

- Axelsson, S. Å., 1998: The mechanization of logging operations in Sweden and its effect on occupational safety and health. *International Journal of Forest Engineering*, 9(2): 25–31. <https://doi.org/10.1080/08435243.1998.10702715>
- Blombäck, P., 2002: Improving Occupational Safety and Health: The International Labour Organization's Contribution. FAO corporate document repository, Rome, Italy.
- Cacot, E., S. Grulois, A. Thivolle-Cazat, P. Magaud, 2015: Mechanization of French logging operations: challenges and prospects in 2020. *Proceedings of the 48<sup>th</sup> FORMEC Symposium*, Linz, Austria, Oct 4-8, 2015, 23–30.
- Conforti, I., M. Ilaria, D. P. Zaccaria, P. Eduardo, 2020: Measuring biomechanical risk in lifting load tasks machine-learning approach. *Sensors*, 20(6), 1557. <https://doi.org/10.3390/s20061557>
- Dempster, W. T., 1955: Space requirements of the seated operator. Technical Report WADC-TR-55-159, Wright Air Development Center, MI, USA, 254 str.

- Dželalija, M., N. Rausavljević, 2003: Biomehanika sporta. Fakultet prirodoslovno-matematičkih znanosti i odgojnih područja, Manualia Universitatis Studiorum Spalantensis, 208 str.
- EU-OSHA – European Agency for Safety and Health at Work, 2018: Annual Report 2017. Publications Office of the EU, Luxembourg, 69 str.
- Gejdoš, M., M. Vlčkova, Z. Allmanova, Ž. Blažova, 2019: Trends in workplace injuries in Slovak forest enterprises. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1), 141. <https://doi.org/10.3390/ijerph16010141>
- Garland, J., J. Cedergren, L. Eliasson, H. van Hensbergen, A. McEwan, D. Wästerlund, 2020: Occupational safety and health in forest harvesting and silviculture – A compendium for practitioners and instructors. Forestry Working Paper No. 14, FAO, Rome, Italy, 126 str. <https://doi.org/10.4060/ca8773en>
- Huang, C., W. Kim, Y. Zhang, S. Xiong, 2020: Development and validation of a wearable inertial sensors-based automated system for assessing work-related musculoskeletal disorders in the workspace. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6050. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176050>
- Landekić, M., 2013: Unapređenje poslovanja razvojem organizacijske kulture šumarske tvrtke [Improvement of business performance by the development of forestry firm's organizational culture]. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb.
- Landekić, M., M. Šporčić, I. Martinić, M. Bakarić, 2015: Influence of organizational culture on firm efficiency: competing values framework in Croatian forestry. *Scandinavian Journal of Forest Research*, <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1046480>
- Landekić, M., I. Martinić, D. Mijoč, M. Bakarić, M. Šporčić, 2021: Injury patterns among forestry workers in Croatia. *Forests*, 12(10), 1356. <https://doi.org/10.3390/f12101356>
- Landekić, M., M. Šporčić, M. Bačić, Z. Pandur, B. Bakarić, 2023a: Workability and physical wellbeing among chainsaw operators in Croatia. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 44(1): 83–94. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2023.2073>
- Landekić, M., M., Bačić, M. Bakarić, M. Šporčić, Z. Pandur, 2023b: Working posture and the center of mass assessment while starting a chainsaw: A case study among forestry workers in Croatia. *Forests*, 14(2), 395. <https://doi.org/10.3390/f14020395>
- Maki, B. E., W. E. McIlroy, 1996: Postural control in the older adult. *Clinics in Geriatric Medicine*, 12(4): 635–658. [https://doi.org/10.1016/S0749-0690\(18\)30193-9](https://doi.org/10.1016/S0749-0690(18)30193-9)
- Masci, F., G. Spatari, S. Bortolotti, C. M. Giorgianni, L. M. Antonangeli, J. Rosecrance, C. Colosio, 2022: Assessing the impact of work activities on the physiological load in a sample of loggers in Sicily (Italy). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7695. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137695>
- Najafi, B., D. Horn, S. Marclay, R. T. Crews, S. Wu, J. S. Wrobel, 2010: Assessing postural control and postural control strategy in diabetes patients using innovative and wearable technology. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 4(4): 780–791. <https://doi.org/10.1177/19322968100040040>
- Pavei, G., E. Seminati, D. Cazzola, A. E. Minetti, 2017: On the estimation accuracy of the 3D body center of mass trajectory during human locomotion: Inverse vs. forward dynamics. *Frontiers in Physiology*, 8(129): 1–13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00129>
- Perpiñá Castillo, C., C. Jacobs-Crisioni, B. Kavalov, C. Lavallo, 2019: Socio-economic and demographic trends in EU rural areas: An indicator-based assessment with LUISA territorial modelling platform. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference GISTAM*, 250–258.
- Salminen, S., T. Klein, K. Ojanen, 1999: Risk taking and accident frequency among Finnish forestry workers. *Safety Science*, 33(3): 143–153. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(99\)00029-6](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(99)00029-6)
- UNECE/FAO, 2020: Forest sector workforce in the UNECE region – Overview of the social and economic trends with impact on the forest sector. Geneva timber and forest discussion paper 76. United Nations, Geneva, Switzerland, 77 str.
- Zatsiorsky, V. M., V. N. Seluyanov, L. Chugunova, 1990: In vivo body segment inertial parameters determination using a gammascanner method. In: *Biomechanics of Human Movement: Application in Rehabilitation, Sports, and Ergonomics*. Berme, N., A. Cappozzo (Eds.), Bertec Corporation, Worthington, OH, USA, 187–202.
- Xsens Technologies, 2022: Calibrating Link—Xsens Video Tutorials. Available online: <https://tutorial.xsens.com/video/calibratinglink/> (accessed on 15 December 2022).
- Tkalčić, S., 1987: Struktura ravnoteže. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet za fizičku kulturu.

---

**Abstract**

---

## *Determining Workers' Center of Mass Position in Motor-Manual Work with a Chainsaw by Using Xsens Motion Capture Suit*

Despite the development of mechanization and the application of high technologies in wood harvesting systems, motor-manual work with a chainsaw still prevails in the countries of South-Eastern Europe and beyond. The biomechanical workload of forestry workers in such operations is categorized as »very heavy«. The Center of Mass (CM) assessment plays an important role in understanding the exposure of forest workers to postural and occupational risks, either as part of the entire work process or as a part of a particular element of work technique. Accordingly, the aim of this research is to determine the position of the Center of Mass of the chainsaw workers in relation to three key work elements in tree felling operations (performing undercut, performing final cut, and hammering a wedge with an axe) and its connection with personal and professional factors. To measure the position of the Center of Mass ( $n=28$  forest sites, which also makes 28 sampled workers), the Xsens MVN Link motion capture suit was used as a state-of-the-art technology that enables data collection under real field conditions. Descriptive and inferential statistical methods were used to analyze the recorded data. Considered professional factors (working method, management model and tree diameter at breast height) and personal factors (age, height and body mass index) resulted in statistically significant difference regarding the measured values of the Center of Mass. Based on all the above, further kinematic research in forestry should contribute to a stronger inclusion of Industry 5.0 solutions in logging operations, especially motor-manual work, by applying virtual reality technologies during worker training or by using the latest technological solutions in terms of strengthening human labor on the one hand, and increasing safety and health protection on the other.

*Keywords:* forestry, chainsaw worker, tree felling, Xsens, motion capture suit, Center of Mass

---

**Adrese autorâ – Authors' addresses:**

Izv. prof. dr. sc. Matija Landekić\*  
e-pošta: mlandekic@sumfak.hr  
Doc. dr. sc. Matija Bakarić  
e-pošta: mbakaric@sumfak.hr  
Izv. prof. dr. sc. Zdravko Pandur  
e-pošta: zpandur@sumfak.hr  
Dr. sc. Marin Bačić  
e-pošta: mbacic1@sumfak.hr  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije  
Svetošimunska cesta 23  
10000 Zagreb  
HRVATSKA

Primljeno (Received): 26. 5. 2023.

Prihvaćeno (Accepted): 5. 7. 2023.

\* Glavni autor – Corresponding author