

Časovna študija sestojne inventure z aplikacijo MOTI na zasebni gozdni posesti

Time study of a forest stand inventory with the mobile application MOTI on a private forest holding

Andrej FICKO^{1*} Helena SMREKAR²

Izvešček:

Z razvojem digitalnih orodij postaja izvedba gozdne inventure na zasebni gozdni posesti dostopnejša, hitrejša in preglednejša. V raziskavi smo v okviru projekta EIP Digigozd na šestih gozdnih posestih proučevali porabo časa za merjenje sestojne temeljnice, števila dreves in zgornje sestojne višine s slovensko različico mobilne aplikacije MOTI ter hitrost učenja merilcev. Lastniki so izvedli meritve na 149 vzorčnih ploskvah v štirinajstih sestojih, pretežno debeljakih. Zbrane meritve smo analizirali na sestojni ravni, ravni posesti in skupaj. Pri skoraj vseh lastnikih se je izkazal negativen eksponentni učinek učenja na porabo časa za inventuro, ki je v povprečju znašala 10 min/ploskev. Na podlagi mešanega linearnega modela smo ugotovili, da ob upoštevanju razlik med lastniki in med sestoji na porabo časa značilno vpliva le zaporedna številka meritve. To pomeni, da vsaj v začetni fazi, ko merilec še ni izurjen, učenje prevladujoče vpliva na hitrost izvajanja meritev. Na podlagi časovne študije in izkušenj, ki smo jih pridobili v projektu, nameravamo nadaljevati z razvojem orodij za podporo pri gospodarjenju na zasebni gozdni posesti.

Ključne besede: časovna analiza, gozdna inventura, mobilne aplikacije, zasebna gozdna posest, gozdnogospodarsko načrtovanje, lastniki gozdov

Abstract:

Due to the development of digital tools, forest inventories on private forest holdings are becoming more accessible, faster and easier to use. As part of the Digigozd EIP project, we conducted time analysis of stand inventories on six forest estates for measuring stand basal area, the number of trees and the top height with the Slovenian version of the MOTI mobile application. The owners carried out measurements on 149 sample plots in 14 stands, most of which were in the timber phase. The collected measurements were analyzed at the stand level, the property level and together. We found a negative exponential effect of learning for almost all owners; the average time needed for measuring all three parameters on a plot was 10 min. Using a linear mixed-effect model, we found that only learning has a significant effect on the time needed for forest inventory. This means that, at least in the initial phase, when the measurer is not yet trained, learning has a dominant influence on the speed at which measurements are made. Based on the time studies and experience gained in the project, we aim to continue with the development of tools to support the management of private forest holdings.

Key words: time analysis, forest inventory, mobile applications, private forest holding, forest management planning, private forest owners

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Zasebni gozdovi zavzemajo večji del gozdov v mnogih evropskih državah (Forest Europe, 2020). Eden izmed izzivov pri gospodarjenju z njimi je neaktivno gospodarjenje in pomanjkanje zanesljivih podatkov o gozdnih na ravni gozdne posesti. Za načrtovanje ukrepov in odločanje so ključnega pomena dobri podatki o sestojih. Na

zasebni posesti sestojno inventuro lahko izvedemo kot polno premerbo ali z vzorčenjem. Na večjih posestih je polna premerba finančno in časovno potratna, zato je smiselna le v manjših sestojih ali sestojih, kjer je poudarjena katera od funkcij ali so v njih načrtovani posebni posegi (Avery in Burkhardt, 2002). Pri polni premerbi lahko nastanejo napake, ker po navadi meritve opravljajo različni merilci in je zato ocena sestojnega parametra z

¹ Izr. prof. dr. A. F., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. andrej.ficko@bf.uni-lj.si

² H. S., Zavod za gozdove Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. helena.smrekar@zgs.si

* dopisni avtor: andrej.ficko@bf.uni-lj.si

vzorčenjem praviloma boljši način. Pri vzorčenju sta zaradi manjšega obsega meritev tudi lažji kontrola in ponovitev v primeru morebitnih napak (Lund in Thomas, 1989).

Sestojna inventura je sestavljena iz treh postopkov: kartiranja sestojev, vzorčenja in analize dobljenih podatkov (Lund in Thomas, 1989). Pridobivanje podatkov obsega 76 % vseh stroškov inventure (Lund, 1987, cit. po Lund in Thomas, 1989), višina stroškov pa je odvisna predvsem od tega, kako je inventura zasnovana. Zavod za gozdove Slovenije v pregledovalniku lastnikom gozdov omogoča informativni vpogled v oceno sestojnih parametrov za posamezno parcelo ali skupino parcel. Zaradi namena gozdne inventure, ki je bila podlaga za izračun parametrov in samega postopka izračuna, lahko ocene za posamezne sestoje precej odstopajo od pravih vrednosti. Za načrtovanje na ravni zasebne gozdne posesti so obstoječi podatki o sestojih največkrat pregrobi in nezanesljivi. Na posesti je zato pred izvedbo gozdne inventure pomemben dober načrt izvedbe, ki nastane s sodelovanjem gozdarja načrtovalca in uporabnika inventurnih podatkov, to je lastnika (Köhl in sod., 2006). Pri načrtovanju inventure želimo optimizirati porabo časa, stroške in kakovost izvedbe.

Z digitalizacijo in razvojem sodobnih pripomočkov za hitrejšo obdelavo podatkov nastajajo nove možnosti za izvedbo inventure. Ena od njih je mobilna aplikacija MOTI, ki so jo razvili Rosset in sod. (2014) in je namenjena izmeri več sestojnih parametrov. Izmera sestojne temeljnice temelji na načinu/načelu kotnoštevne metode (Bitterlich, 1984), izmera višin in števila drevja pa na trigonometričnih načinih/načelih. Aplikacija je brezplačna in deluje na mobilnih telefonih in tabličnih računalnikih z operacijskim sistemom Android ter na mobilnih napravah proizvajalca Apple. Z aplikacijo je mogoča izmera sestojne temeljnice, gostote sestoja (število dreves na hektar), višine dreves in lesne zaloge, omogoča pa tudi izvedbo lokalnih in sestojnih inventur. Če z aplikacijo MOTI izvajamo gozdno inventuro na vnaprej postavljeni mreži, se po njej lahko pomikamo s pomočjo vnesenih koordinat in navigacije. Z MOTI hitro in enostavno pridobimo oceno lesne zaloge ter gostote sestojev, oboje pa

je osnova za odločanje o nadaljnjih ukrepih ter izvajanje zahtevnejših analiz. MOTI omogoča tudi simulacijo razvoja sestoja do 30 let in kontrolo ustreznosti sestojne gostote. V projektu Digigozd (Digigozd, 2021) smo aplikacijo prevedli v slovensščino in priredili srednje sestojne oblikovne višine slovenskim razmeram, s čimer smo želeli spodbuditi lastnike zasebnih gozdov, da bi v svojem gozdu sami izvedli gozdno inventuro (Digigozd, 2021). Ob izidu aplikacije smo pripravili navodila za kalibracijo in uporabo (Ficko in Čotar, 2021b) ter poseben priročnik (Ficko in Čotar, 2021a), ki bodo v pomoč lastnikom gozdov in gozdarjem pri načrtovanju in izvedbi sestojne inventure.

Pri opravljanju pretežno rutinskega dela velja, da se čas, potreben za izvedbo dela, zmanjšuje z izkušnostjo delavca, ki jo le-ta pridobiva, ko opravilo ponavlja dlje časa (Azzouz in sod., 2018). Z večanjem števila ponovitev se poraba časa za določeno opravilo na začetku praviloma naglo zmanjšuje, zatem pa le malo. Za prikaz zmanjševanja avtorji uporabljajo različne krivulje: S-krivulja (Carr, 1946; vsi nadaljnji cit. po Azzouz in sod., 2018), logaritemsko linearen model (Wright, 1936), Stanford-B model (Asher, 1956), DeJongov model (1957), model platoja (1971) idr. Na porabo časa za izvedbo sestojne inventure vplivajo tudi sestojne razmere, kot so gostota sestojev, drevesna sestava, nagib in prehodnost terena, zato je ob vrednotenju učinkov učenja treba upoštevati razlike v sestojih in na terenu (Eiberle in Lanz, 1989).

V raziskavi smo želeli ugotoviti, kako hitro lastniki gozdov osvojijo veščine izmere sestojev z uporabo aplikacije MOTI. Zanimalo nas je: 1) ali se čas, potreben za meritve sestojnih parametrov, z izkušnostjo izvajalca meritev zmanjšuje in 2) ali in kako na porabo časa poleg izkušnosti vplivajo značilnosti sestoja, kot so število dreves, temeljnica, nagib terena (skalovitost, kamnitost) in delež iglavcev.

2 METODE

2 METHODS

2.1 Priprava inventure

2.1 Stand inventory preparation

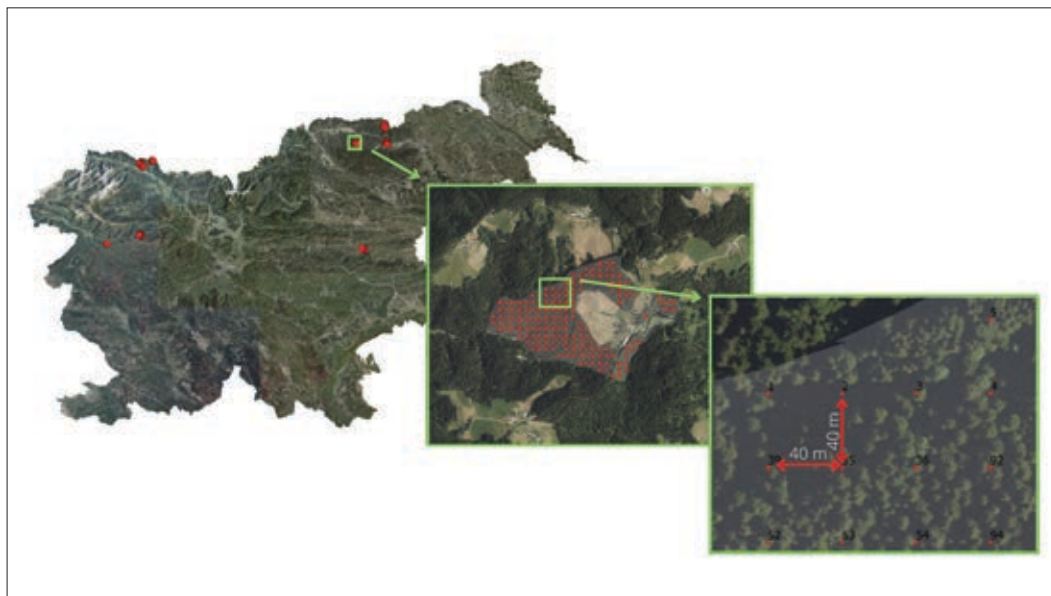
V raziskavo smo vključili šest kmetijskih gospodarstev: kmetijska gospodarstva Klinar (Plavški Rovt), Jemec (Davča), Hvala (Ponikve (Slap ob Idriji)), Ferlinc (Fala), Hudernik (Zgornja Orlica, Ribnica na Pohorju) in Blatnik (Male Grahovše, Laško), kjer so lastniki na izbranih parcelah izvedli sestojno inventuro. Štirje lastniki so končali univerzitetni ali visokošolski strokovni študij gozdarstva. Z Zavoda za gozdove smo pridobili podatke o gozdnih parcelah kmetijskih gospodarstev. S pomočjo programskega orodja QGIS 3.16 (b. l.) smo podatke o sestojih s pregledovalnika Zavoda za gozdove presekali s parcelami lastnikov in tako dobili podatke o posameznih parcelah lastnikov. Na vsaki posesti smo sistematično razporedili vzorčne ploskve v mreži 40 x 40 m (Slika 1). Da bi zmanjšali morebiten vpliv negozdnih površin in gozdov sosednjih lastnikov, smo izločili vzorčne ploskve s središči, ki so bila od parcelne meje ali meje sestoja oddaljena 10 m ali manj. Za lastnike smo

pripravili kartne podlage z vrisanimi vzorčnimi ploskvami in preglednice s podatki o sestojih na ploskvah in njihovimi koordinatami.

2.2 Izvajanje meritev

2.2 Measurements

Vsak lastnik je po lastni presoji izbral nekaj vzorčnih sestojev, kjer je izvedel sestojno inventuro z MOTI. Merili so temeljnico, število dreves in zgornjo sestojno višino. Za lociranje središč vzorčnih ploskev so lastniki uporabili v aplikaciji vgrajeno navigacijo tako, da so za posamezno ploskev vnesli koordinate, nekateri lastniki pa so ploskve locirali tudi s pomočjo aplikacije QField (GPL, b. l.), kamor so predhodno prenesli sloj ploskev. Pri meritvi temeljnice so vsi lastniki razen Hvale, izbrali kotnoštevni faktor 2 (pri Hvali je bil $k = 4$) upoštevajoč sestojne razmere, želeno natančnost dobljenih rezultatov in porabo časa. Temeljnico so izmerili s središča ploskve tako, da so z vrtenjem okoli osi za 360° prešteli vsa drevesa, ki so bila širša od vizirnega kota izbranega kotnoštevne faktorja, poleg tega so zabeleženim drevesom določili tudi drevesno vrsto. Za izmero števila dreves so uporabili



Slika 1: Izbrana kmetijska gospodarstva in vzorčna mreža ploskev na posesti Hudernik.

Figure 1: Selected private forest holdings and sample plot network on Hudernik estate.

300 m² krožne ploskve. Pri gibanju po obodu krožnice so prešteli vsa drevesa znotraj ploskve, upoštevajoč navodila (Ficko in Čotar, 2021a). Zgornjo sestojno višino so izmerili tako, da so izmerili višino drugega najdebelejšega drevesa na ploskvi. Višino so merili večkrat, aplikacija je kot končno višino upoštevala povprečje meritev. V primeru mejnih dreves so mejna drevesa izmenično upoštevali in izpuščali.

2.3 Analiza meritev

2.3 Data analysis

Po končani inventuri so lastniki posredovali datoteke s podatki za 14 sestojev in 149 ploskev. Za vsak sestoj smo izračunali povprečne vrednosti sestojnih parametrov in njihove relativne vzorčne napake (Preglednica 1, Slika 2). MOTI za vsak sestoj zabeleži začetek in konec meritev. Porabo časa za sestojno inventuro smo izračunali kot razliko med zaključkom in začetkom meritev. Velika odstopanja v trajanju meritev (manj kot 4 min in več kot 24 minut), ki so bila verjetno posledica poskusnih meritev ali opravljanja drugih del med inventuro, smo izločili iz analiz, s čimer je za časovno študijo ostalo 94 ploskev. Porabo časa in druge spremenljivke smo zaradi desne asimetričnosti porazdelitve logaritmirali. Zaradi le ene ponovitve poskusa s kotnoštevničnim faktorjem 4 nismo mogli preverjati učinka izbire kotnoštevničnega faktorja na porabo časa. Zato smo iz vseh časovnih analiz izločili kmetijsko gospodarstvo Hvala.

Za ugotavljanje hitrosti učenja posameznika in vplivov sestojnih razmer na porabo časa za izmero sestojev smo najprej izvedli linearno multiplo regresijo, kjer smo z metodo postopne vključitve logaritmiranih spremenljivk zaporedne številke meritve (Ln_zp_st), temeljnice (Ln_G), števila dreves (Ln_N) in deleža iglavcev (Ln_igl) za vsakega lastnika posebej preverili vpliv na logaritem porabe časa (Ln_cas_min). Analizirali smo ostanke in njihovo porazdelitev. Multikolinearnost med spremenljivkami smo preverili s faktorjem napihnenosti variance (VIF). Zatem smo z mešanimi linearnimi modeli s slučajnostno konstanto preverili vpliv učenja in sestojnih dejavnikov, pri čemer smo kot slučajnostna dejavnika

vkjučili lastnika in sestoj. Tako smo upoštevali morebitno večjo podobnost opazovanj porabe časa znotraj posesti in znotraj sestoja kot med posestmi in med sestoji. Učinek lastnika oziroma merilca in učinek sestoja smo ovrednotili s koeficientom intraklasne korelacije, ki meri, kolikšen del celotne variabilnosti znaka lahko pripišemo učinku merilca ali sestoja. Kakovost modela smo ovrednotili s conditional R^2 ($R^2_{\text{LMM}(c)}$), ki meri vpliv fiksnih in slučajnostnih dejavnikov, in marginal R^2 ($R^2_{\text{LMM}(m)}$), ki meri vpliv samo fiksnih dejavnikov (Nakagawa in Schielzeth, 2013). Za statistične analize smo uporabili brezplačno programsko opremo JASP 16.4 (JASP, b. l.).

3 REZULTATI

3 RESULTS

3.1 Zanesljivost ocene sestojnih parametrov

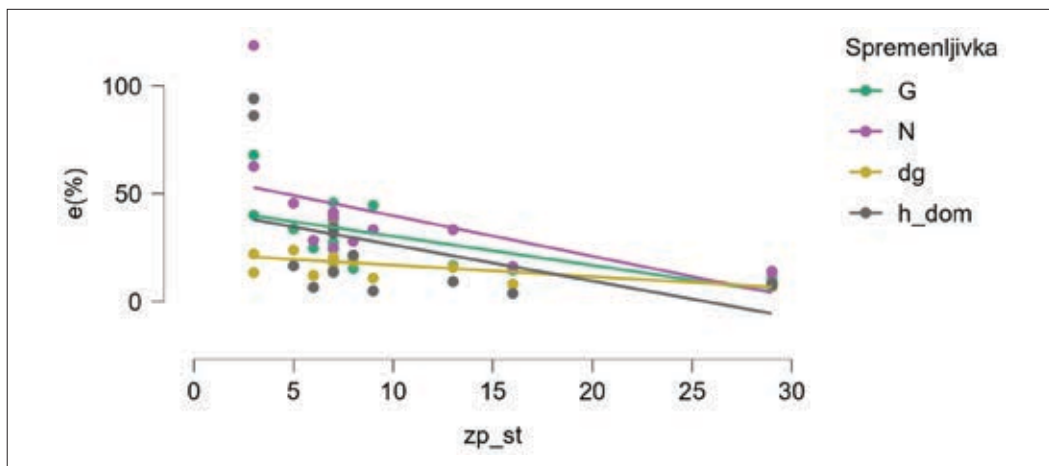
3.1 Accuracy of stand parameters

Polovica od štirinajstih sestojev so bili debeljaki, po dve inventuri sta bili izvedeni v drogovnjakih, raznomernih sestojih in sestojih v obnovi. En sestoj je bil tipičen prebiralni. Relativna vzorčna napaka je bila v povprečju največja pri meritvah števila dreves in lesne zaloge, najmanjša pa pri izračunanem srednjemeljničnem premeru. Z večanjem števila vzorčnih ploskev v sestoju se pričakovano zmanjšuje relativna vzorčna napaka sestojnih parametrov (slika 2).

Preglednica 1: Srednje vrednosti sestojnih parametrov in relativna vzorčna napaka parametra (%) po sestojih.
Table 1: Mean values and sample errors (%) of stand parameters for stands.

Lastnik	Pov. (ha)	RFAZA	n		G (m ² /ha)	N (/ha)	d _g (cm)	h _{dom} (m)	LZ (m ³ /ha)
Hudernik	6,07	3	29	Povp.	46,6	552,9	34,4	28,2	575,5
				e (%)	8,53	14,09	8,29	7,54	10,54
Klinar	3,07	6	7	Povp.	41,7	457,1	35,7	29	520,3
				e (%)	27,39	41,15	18,33	13,66	30,63
Klinar	6,16	6	13	Povp.	33,2	281	39,8	29,1	367,5
				e (%)	16,7	33,39	15,74	9,31	21,5
Klinar	1,49	3	6	Povp.	55,7	566,7	35,6	31,2	735,6
				e (%)	24,83	28,42	12,13	6,53	29,38
Klinar	0,58	2	3	Povp.	54	1400	22,3	18	401,8
				e (%)	40,1	62,6	13,46	86,19	41,46
Jemec	18,85	3	7	Povp.	48,9	309,5	45,7	30,4	600,6
				e (%)	24,33	24,88	20,58	14,02	29,89
Jemec	6,29	4	7	Povp.	41,1	323,8	39,7	26,9	513,0
				e (%)	45,84	39,14	34,89	34,29	55,23
Jemec	1,30	2	7	Povp.	45,1	700,0	28,9	21,9	471,9
				e (%)	37,62	41,31	17,84	31,70	50,22
Hvala	12,02	3	29	Povp.	37,5	375,6	36,5	29,6	452,1
				e (%)	10,55	13,35	6,96	8,31	13,05
Ferlinc	1,45	3	9	Povp.	21,1	481,5	23,1	26,8	244,5
				e (%)	44,61	33,35	10,85	4,93	47,34
Ferlinc	2,89	11	16	Povp.	28,4	510,4	27,1	28,4	348,5
				e (%)	14,53	16,21	8,11	3,81	15,39
Blatnik	4,77	3	3	Povp.	38	322,2	39,8	21,3	374,4
				e (%)	67,94	118,72	22	94,12	136,97
Blatnik	7,39	4	8	Povp.	42,5	370,8	39,9	24,6	443
				e (%)	15,27	27,96	18,83	21,47	23,81
Blatnik	14,11	3	5	Povp.	39,2	260	45,3	28,4	452,5
				e (%)	33,7	45,59	23,9	16,53	28,16

RFAZA: 2 drogovnjak; 3 debeljak; 4 sestoj v obnovi; 6 raznomerno (pos., šop.); 11 tipični prebiralni sestoj.
n: število ploskev v sestoju; G: sestojna temeljnica; N: število dreves/ha; d_g: srednjemeljnični premer; h_{dom}: zgornja sestojna višina; LZ: lesna zaloga sestoja, izračunana z MOTI.
e (%): relativna vzorčna napaka parametra.



Slika 2: Zmanjševanje relativne vzorčne napake (e (%)) z večanjem števila ploskev (zp_st).

Figure 2: A decrease of sample error (e (%)) with increasing number of sample plots (zp_st).

3.2 Poraba časa za sestojno inventuro na posesti

3.2 The time needed for stand inventories on an individual forest property

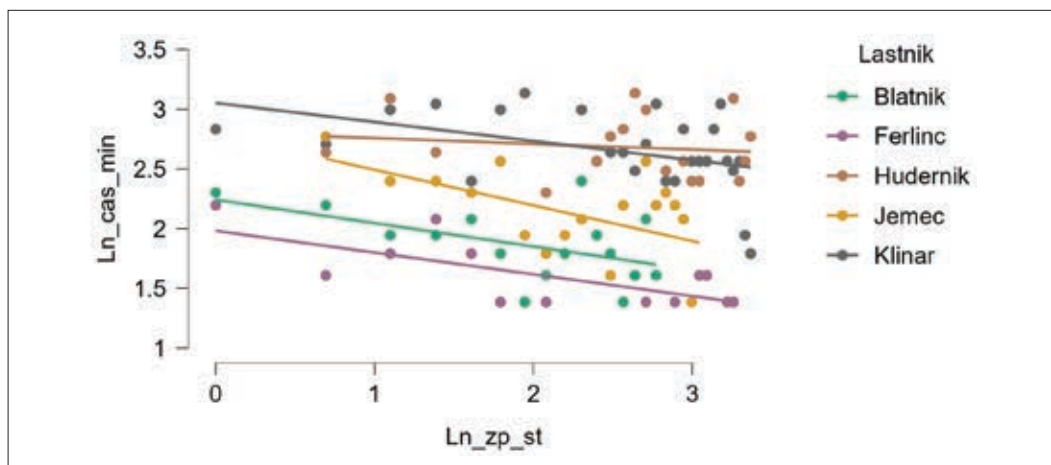
Podatki kažejo, da so lastniki v povprečju izvedli meritve sestojne temeljnice, zgornje višine sestoja in števila dreves v 10 minutah in 47 sekundah (standardni odklon 5 minut in 20 sekund), pri čemer se je med lastniki precej razlikoval čas izmere. Najhitrejši je meritve na ploskvah v povprečju opravil v 5 minutah in 7 sekundah, najdaljši povprečen čas meritev je znašal 15 minut in 10 sekund.

Pri vseh lastnikih se trajanje meritev zmanjšuje degresivno v obliki negativne eksponentne funkcije z vsako nadaljnjo izmerjeno ploskvijo (Slika 3), kar nakazuje na učenje lastnikov ob večanju števila meritev. Če pri porabi časa upoštevamo še razlike v sestojnih razmerah, ugotovimo, da se poraba časa z vsako nadaljnjo meritvijo značilno zmanjšuje pri štirih lastnikih (Blatnik, Ferlinc, Jemec in Klinar, Preglednica 3). Iz tega lahko sklepamo, da so se lastniki s ponavljanjem postopka meritev izurili in so meritve opravljali hitreje. Pri Huderniku nobena od spremenljivk ni značilno vplivala na hitrost izvedbe inventure.

Preglednica 2: Povprečno trajanje meritev sestojne temeljnice ($k = 2$), zgornje sestojne višine in števila dreves/ha na ploskvi (300 m^2).

Table 2: Average time needed for measuring stand basal area ($k = 2$), upper stand height and stem number per hectare (300 m^2).

Lastnik	Število izmerjenih ploskev	Trajanje (min:s)	Std. odklon (min:s)
Blatnik	16	6:45	2:03
Ferlinc	15	5:07	1:33
Hudernik	17	15:10	4:15
Jemec	19	08:50	3:04
Klinar	27	14:55	4:22
Skupaj	94	10:47	5:20



Slika 3: Prikaz odvisnosti trajanja meritev od zaporedne številke merjene ploskve v dvojnem logaritemskem prikazu.
Figure 3: The dependence of time needed for a measurement on the serial number of the measurement in the ln-ln plane.

Pri Blatniku na hitrost izvedbe inventure vpliva še velikost temeljnice in pri Jemcu število dreves v sestoji. V gostejših sestojih je bila torej poraba časa pri omenjenih lastnikih večja, četudi upoštevamo učinek učenja (Preglednica 3). Pri posamezniku učenje pojasni od 18,9 % do 47,5 % variabilnosti

porabe časa (glej R^2). Če upoštevamo še razlike v sestojnih gostotah, smo z obema spremenljivkama skupaj pojasnili do 56,4 % variabilnosti porabe posameznika (R^2 pri Jemec) in porabo časa v povprečju pravilno napovedali na do 0,20 min natančno (RMSE pri Ferlinc).

Preglednica 3: Spremenljivke v multipli linearni regresiji, ki so pri posameznih lastnikih značilno vplivale na porabo časa pri izvajanju meritve, determinacijski koeficienti (R^2) in celotna napaka napovedi (RMSE).

Table 3: Variables in the multiple linear regression model at the forest holding level, coefficients of determination (R^2) and RMSE.

Lastnik	Spremenljivka	Parameter	Standardna napaka	Standardiziran parameter	p	R^2	RMSE
Blatnik	Konstanta	-0,475	0,980		0,636		
	Ln_zp_st	-0,203	0,072	-0,531	0,015	0,262	0,269
	Ln_G	0,741	0,265	0,528	0,015	0,540	0,220
Ferlinc	Konstanta	1,982	0,123		<0,01		
	Ln_zp_st	-0,182	0,053	-0,689	0,004	0,475	0,199
Jemec	Konstanta	0,974	0,639		0,147		
	Ln_zp_st	-0,432	0,098	-0,819	<0,001	0,319	0,305
	Ln_N	0,356	0,119	0,556	0,008	0,564	0,251
Klinar	Konstanta	3,053	0,174		<0,01		
	Ln_zp_st	-0,16	0,066	-0,434	0,024	0,189	0,295

3.3 Poraba časa za sestojno inventuro

3.3 Time needed for stand inventories

Ob upoštevanju, da so meritve pri lastnikih in v sestojih lahko bolj podobne kot meritve med lastniki in med sestoji, smo z mešanim linearnim modelom ugotovili, da na porabo časa pri izvedbi meritve značilno vpliva le zaporedna številka meritve (Ln_zp_st , $p < 0,001$) (Preglednica 4).

Vpliv merilca na porabo časa je znaten, saj koeficient intraklasne korelacije za lastnike (ICC_{last}) znaša 0,73. Vpliv variabilnosti sestojev, ki še ostane, ko izločimo vpliv temeljnice, števila dreves in deleža iglavcev, pa je zelo majhen, sodeč po intraklasni korelaciji po sestojih (ICC_{sest}), ki znaša 0,07. Skupen odstotek pojasnjene variabilnosti porabe časa z vključitvijo fiksnih dejavnikov učenje, temeljnica, število dreves in delež iglavcev je 14 %. Z upoštevanjem odvisnosti meritev merilcev in v sestojih pa smo skupno pojasnili 83 % variabilnosti porabe časa (Preglednica 5).

4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Ker je sestojna inventura na zasebni gozdni posesti lahko zamuden proces, smo z raziskavo želeli ugotoviti, kakšne norme lahko pričakujemo pri izvedbi inventure v zasebnih gozdovih. Na podlagi meritev petih lastnikov smo ugotovili, da povprečen čas izmere temeljnice, števila dreves in dominantne višine na enem stojišču znaša 10 minut in 47 sekund. Za izračun lesne zaloge z MOTI sicer zadostuje izmeriti le temeljnico in dominantno višino sestoja (slika 4). Število dreves je pomembno pri simulaciji razvoja, kjer je potreben podatek srednjemeljnični premer, zato je priporočljivo opraviti vse meritve. Različni avtorji, ki so raziskovali čas, potreben za izmero posameznih sestojnih parametrov ali izvedbo sestojne inventure (Rosset in sod., 2014; Sitar, 2021; Turk, 2015), navajajo, da so za izvedbo inventure na ploskvi z MOTI potrebovali manj

Preglednica 4: Vpliv učenja (Ln_zp_st) in sestojnih spremenljivk (Ln_g , Ln_N , Ln_igl) na porabo časa za sestojno inventuro za vse lastnike (mešan linearni model s slučajnostno konstanto).

Table 4: The effect of learning (Ln_zp_st) and stand variables (Ln_g , Ln_N , Ln_igl) on time needed for stand inventory for all owners (linear mixed-effect model with a random intercept).

Spremenljivka	Parameter	SE	SP	p
Konstanta	1,947	0,446	38,527	< 0,001
Ln_zp_st	-0,155	0,042	66,343	< 0,001
Ln_G	0,145	0,084	82,330	0,088
Ln_N	0,021	0,068	75,758	0,759
Ln_igl	-0,025	0,038	87,692	0,516

Preglednica 5: Mere prileganja mešanega linearnega modela.

Table 5: Model fit criteria for linear mixed-effect model.

Devianca	Devianca (REML)	Log. verjetja	SP	AIC	BIC	ICC_{last}	ICC_{sest}	$R^2_{LMM(m)}$	$R^2_{LMM(c)}$
36.257	53.849	-26.925	8	69.850	90.196	0,73	0,07	0,14	0,83

časa kot lastniki v naši raziskavi. Razlog je morda v tem, da se po več meritvah čas še dodatno skrajša, saj se merilec pri določenih opravilih hitro izuri (npr. gibanje po obodu krožne ploskve pri izmeri števila dreves). Pri inventuri lahko precej časa privarčujemo tudi tako, da podatkov o številu dreves ne vnašamo posamično, ampak več hkrati. Prav tako se zgornja sestojna višina, ki je vhod v določitev sestojne oblikovne višine za izračun lesne zaloge po kotnoštevni metodi, v pretežno enomernem sestoji praviloma ne spreminja in jo lahko pri vsakih nadaljnjih meritvah vnesemo v aplikacijo z daljšim pritiskom na vnosno polje. Vsi lastniki so kot veliko prednost prepoznali uporabnost podatkov takoj po opravljeni meritvi, saj aplikacija sama izračuna glavne parametre in nekatere rezultate tudi grafično prikaže.

Kot glavni rezultat raziskave izpostavljamo, da se čas, potreben za izvedbo sestojne inventure z aplikacijo MOTI, zmanjšuje z vsako nadaljnjo meritvijo. Pri štirih lastnikih (Blatnik, Ferlinc, Jemec, Klinar) smo ugotovili dobro prileganje negativnega eksponentnega modela, pri Huderniku tega vpliva nismo potrdili. Hitrost učenja lahko pojasnimo tudi z izobrazbo, saj je bila večina merilcev gozdarjev in predvidevamo, da bi bile v

splošni populaciji lastnikov krivulje učenja položnejše. Vpliv učenja je očiten predvsem v začetni fazi, kasneje se z velikim številom ponovitev poraba časa le še malo zmanjšuje. V literaturi sicer nismo zasledili raziskav, ki bi proučevale porabo časa pri opravljanju meritev gozdne inventure kot posledico učenja. Krmelj (2010) ugotavlja, da na porabo časa za inventuro na stalnih vzorčnih ploskvah vplivajo število dreves, težavnost terena na ploskvi, dostopnost ploskve ter natančnost in spretnost merilcev. Zaradi relativno enotnih terenskih razmer znotraj posameznih raziskovalnih objektov nismo proučevali vpliva terena na hitrost meritev. Ugotovili smo sicer, da se čas, potreben za izmero, pri enem lastniku povečuje z večjim številom dreves, pri enem lastniku pa z večjo temeljnico. Ob upoštevanju podobnosti meritev znotraj posesti in sestoja pa smo ugotovili, da se čas meritev zmanjšuje le s številom izmerjenih ploskev, preostale spremenljivke ne vplivajo. To pomeni, da je učinek učenja, ki se odraža kot hitrejša merjenje, značilen ne glede na sestojne razmere in lastnosti merilca.

Ugotavljamo, da je relativna vzorčna napaka pri meritvah vseh sestojnih parametrov precej velika, kar je posledica maloštevilnih izmerjenih ploskev v sestoji glede na variabilnost parametrov. Nobeden izmed lastnikov namreč ni dosegel priporočljivega števila ploskev v sestoji glede na zahtevano natančnost, razvojno fazo in mešanost (glej preglednica 4 v Ficko in Čotar, 2021a). Na primer: pri zeleni 10 % natančnosti sestojne temeljnice in kotnoštevni faktorju 2 bi v pretežno listnatih tanjših debeljakih morali izvesti meritve na sedmih ploskvah/ha. Z večanjem števila ploskev v sestoji se relativna vzorčna napaka izmerjenih parametrov (G , N , d_g , h_{dom}) pričakovano zmanjšuje, a zaradi raznomernosti je napaka še vedno velika. Krmelj (2010) tudi ugotavlja, da se število napak povečuje z večjim N in posledično večjo porabo časa. Pri oceni LZ je tako zanesljivost še vedno dokaj majhna. Najmanjša napaka je bila v debeljakih z veliko izmerjenimi ploskvami (10,54 % in 13,05 %). Šantl (2013) je v sestojih s prevladujočim deležem jelke in smreke izmeril 21 ploskev, kjer je ϵ (%) pri izmeri LZ znašala 9,0 %. Na zanesljivost ocene parametrov bi lahko vplivali tudi z izbiro nižjega kotnoštevne faktorja, a bi s



Slika 4: Glavni meni aplikacije MOTI v slovenskem jeziku.

Figure 4: The main menu of the slovenian version of the application MOTI.

tem nekoliko izgubili pri hitrosti inventure. MOTI omogoča izbiro kotnoštevni faktorjev od 1 do vključno 10, lahko je tudi ne celo število. Meritve v Švici kažejo (Rosset in sod., 2013), da če pri izbiri kotnoštevni faktorja upoštevamo porabo časa in zanesljivost meritev, bodo najbolj optimalni kotnoštevni faktorji od 1,5 do 5,5, saj bomo tako porabili najmanj časa in storili najmanjšo napako (glej Slika 10 v Ficko in Čotar, 2021a). Glede na prej omenjeni merili bi bila najboljša izbira $k \approx 2,5$. Če primerjamo MOTI s klasičnimi merilnimi instrumenti, so meritve, dobljene z MOTI, dovolj natančne (Rosset in sod., 2014). Meritev temeljnica z aplikacijo je bila enako dobra oz. boljša od meritve z zrcalnim relaskopom, so pa testne meritve pokazale nekoliko večja odstopanja pri merjenju višin, kjer so se vrednosti, dobljene z MOTI, v 75 % primerov razlikovale za do 6 % od meritev, opravljenih z Vertexom podjetja Haglöf.

Z raziskavo smo potrdili vpliv učenja na hitrost izvedbe meritve sestojnih parametrov z aplikacijo MOTI ne glede na sestojne razmere in morebitne razlike pri merilcih. Z večanjem števila meritev se uporabnik izuri in tako skrajša čas, potreben za inventuro. V prihodnje bi kazalo izboljšati še postopke za določanje vzorčne mreže, prenos mreže na mobilno napravo in analizo podatkov. V ta namen bi lahko uporabili aplikacijo DiGP (Digitalni gozdni pomočnik), ki smo jo že razvili v okviru projekta Digigozd in s katero bi lastnik fazo sestojne inventure lahko povezal z načrtovanjem ukrepov in simulacijo razvoja sestojev.

5 ZAHVALA

5 ACKNOWLEDGEMENT

Znanstveni prispevek je nastal v sklopu projekta Digitalizacija kmetijskih gospodarstev za načrtovanje gospodarjenja z gozdovi (DIGIGOZD), ki je financiran v okviru PRP 2014–2020, podukrepa 16.2 Razvoj novih proizvodov, praks, procesov in tehnologij Evropskega partnerstva za inovacije (EIP), odločba, št. 1119/2020/11.

6 VIRI

6 REFERENCES

- Avery T.E., Burkhart H.E. 2002. Forest measurements. Long Grove, Illinois, Waveland Press.
- Azzouz A., Ennigrou M., Said L. B. 2018. Scheduling problems under learning effects: classification and cartography. *International Journal of Production Research*, 56, 4: 1642–1661. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1355576>
- Bitterlich W. 1984. The relascope idea. Relative measurements in forestry. Farnham Royal: Common Agricultural Bureau: 242 str.
- QGIS 3.16. <https://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html>. (27. 1. 2021).
- Digigozd. 2021. <https://digigozd.si/>. (22. 9. 2022).
- Eiberle K., Lanz A. 1989. Zur Erhebung des Wildverbisses mittels Stichproben. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 140: 171–187.
- Ficko A., Čotar M. 2021a. Priročnik za uporabo mobilne aplikacije za izmero gozdnih sestojev MOTI. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 22 str. <https://repositorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=135623> (13. 6. 2023).
- Ficko A., Čotar M. 2021b. Navodila za uporabo mobilne aplikacije MOTI. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire <https://repositorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=135626> (13. 6. 2023).
- GPL: QField. <https://qfield.org/> (13. 6. 2023).
- JASP 16.4. <https://jasp-stats.org/> (10. 10. 2022).
- Köhl M., Magnussen S., Marchetti M. 2006. Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory. Berlin, Heidelberg, Springer.
- Krmelj B. 2010. Preverjanje natančnosti merjenj na stalnih vzorčnih ploskvah v GGE Radovljica: diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. <https://repositorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=17746> (13. 6. 2023)
- Lund H.G., Thomas C.E. 1989. A primer in stand and forest inventory designs. Washington, United States Department of Agriculture.
- Nakagawa S.H. Schielzeth. 2013. A general and simple method for obtaining R² from generalized linear mixed-effects models. *Methods in Ecology and Evolution*, 4, 2: 133–142. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2012.00261.x>

- Rosset Ch., Schütz J.-P., Lanz A., Menk J., Gollut C., Weber D. 2013. SiWaWa: Waldwachstumssimulationsmodell der neuen Generation: das Waldwachstum für den Praktiker leicht gemacht: Schlussbericht. Zollikhofen, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL. <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wald-holz/fachinfo-daten/waldwachstums-simulationsmodellderneuegeneration.pdf.download.pdf/waldwachstums-simulationsmodellderneuegeneration.pdf> (13. 6. 2023).
- Rosset C., Brand R., Caillard I., Fiedler U., Gollut C., Schmocker A., Weber D., Wuillemin E. 2014. MOTI-L'Inventaire Forestier Facilité par le Smartphone: Rapport Final: Projet no 2012.24. Zollikofen, Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires. http://www.moti.ch/drupal/sites/default/files/documentation/MOTI_Rapport_final_FR_20140331.pdf (13. 6. 2023).
- Sitar Ž. 2021. Ocena uporabne vrednosti za lastnika gozda in preizkus izbranih mobilnih aplikacij za spremljavo gospodarjenja z gozdovi: diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=127875&lang=eng> (13. 6. 2023).
- Šantl B. 2013. Gozdna inventura na kmetiji Hiter: diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=115127&lang=slv> (13. 6. 2023).
- Turk J. 2015. Analiza učinkovitosti aplikacij za pametne telefone pri merjenju sestojnih parametrov: diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=114934&lang=slv&prp=dkum:8729910:d4> (13. 6. 2023).