

Stanje in spremembe slovenskih gozdov v zadnjih dveh desetletjih – rezultati velikoprostorskega monitoringa gozdov

Condition and changes of Slovenian forests in the last two decades – results of the State and changes large-scale spatial forest monitoring

Mitja Skudnik^{1,2,*}, Jernej Jevšenak³, Aleš Poljanec⁴, Gal Kušar¹

Izvleček:

V prispevku so predstavljeni rezultati velikoprostorskega monitoringa gozdov in gozdnih ekosistemov (MGGE), ki je na sistematični mreži trajnih vzorčnih ploskev (4 km x 4 km) prek celotne Slovenije potekal v letih 2000, 2007, 2012 in 2018. Predstavljeni so osnovni znaki o stanju (lesna zaloga in volumen odmrlih lesnih kosov) in spremembah (prirastek, posek, volumen novih sušic) slovenskih gozdov. Lesna zaloga merskega drevja se je med letoma 2000 in 2012 povečala iz 299 na 334 m³ ha⁻¹. V letu 2018 je bila ocena za povprečno lesno zalogo 330 m³ ha⁻¹. Vzorčna napaka ocene lesne zaloge je znašala od 4 do 5 %. Med letoma 2012 in 2018 se je predvsem zmanjšala lesna zaloga iglavcev, in sicer iz 156 na 144 m³ ha⁻¹. Poglavitni razlog je bil povečan posek, ki je bil posledica številnih ujm in gradacij podlubnikov. Tako se je povečal posek, in sicer iz 4,3 v obdobju 2007/12 na 6,3 m³ ha⁻¹ leto v obdobju 2012/18. K povečanemu poseku večinski delež prispevajo iglavci. V zadnjem obdobju je bil bruto prirastek z vrastjo in prirastkom posekanih dreves ocenjen na 7,9 m³ ha⁻¹ leto. Ocena volumna odmrlih lesnih kosov za leto 2018 je znašala 24 m³ ha⁻¹. V prispevku je podrobno predstavljena tudi metodologija izračunov ocen povprečij na podlagi sistematičnega vzorčenja.

Podatki MGGE so bili uporabljeni predvsem za potrebe mednarodnega poročanja o stanju in razvoju slovenskih gozdov ter v omejenem obsegu tudi za nacionalno poročanje o trajnostnem razvoju slovenskih gozdov. Prednost vzpostavljenega sistema je mednarodno usklajena metodologija popisa na sistematični mreži ploskev preko celotne države. Trenutni sistem ima tudi določene omejitve, in sicer malo vzorčnih ploskev, kar vodi v večjo vzorčno napako pri izračunih nekaterih dendrometrijskih kazalnikov. V letu 2020 smo sistem MGGE nadgradili v kontinuiran panelni sistem, katerega osnova bodo nove trajne vzorčne ploskve na neuravnani sistematični mreži gostote 2 km x 2 km, kar je dobro izhodišče za uvedbo Nacionalne gozdne inventure (NGI) v Sloveniji.

Ključne besede: monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov, lesna zaloga, prirastek, mortaliteta, odmrli biomasa, posek, sušice

Abstract:

The article presents the results of the large-scale forest inventory Forest Ecosystem Condition Survey (FECS) that took place on the systematic sampling grid of permanent sampling plots (4 km x 4 km) across the whole of Slovenia in the years 2000, 2007, 2012, and 2018. The basic signs of the condition (growing stock and volume of the deadwood) and changes (increment, felling, and mortality) of the Slovenian forests. The growing stock increased from 299 to 334 m³ ha⁻¹ from the years 2000 to 2012. In 2018, the average growing stock was estimated to be 330 m³ ha⁻¹. The standard error of the growing stock estimation was between 4 to 5 %. From the years 2012 to 2018, above all the growing stock of coniferous trees decreased, namely from 156 to 144 m³ ha⁻¹. The main reason was the increased felling due to numerous natural disasters and bark beetle gradations. Thus, the felling increased, namely from 4.3 in the period 2007/12 to 6,3 m³ ha⁻¹ yearly in the period 2012/18. Coniferous trees contribute the largest share to the increased felling. Recently, gross increment including ingrowth and increment of the felled trees estimated to be 7.9 m³ ha⁻¹ annually. The estimation of the deadwood biomass amounted to 24 m³ ha⁻¹ for the year 2018. The article also presents the calculations of the means' estimations methodology based on the systematical sampling.

The FECS data were mostly used for the needs of international reporting on the condition and development of the Slovenian forests and, on a limited scale, also for the national reporting on the sustainable development of the Slovenian forests. The advantage of the established system is an internationally harmonized inventory methodology on the systematic grid of plots across the entire country. The present system also has certain limitations, namely a small number of sampling plots, which leads to a larger standard error in the calculations of some dendrometric indices. In 2020, we upgraded the FECS system into a continuous panel system which is based on the new permanent sampling plots on the unaligned systematic sampling grid with the 2 km x 2 km density representing a good starting-point for the implementation of the National Forest Inventory (NGI) in Slovenia.

Key words: Forest Ecosystem Condition Survey, growing stock, increment, deadwood biomass, felling, mortality

¹ Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za načrtovanje in monitoring gozdov in krajine, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

² Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, Slovenija

³ Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za prirastoslovje in gojenje gozdov, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁴ Zavod za gozdove Slovenije, Centralna enota, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

* dopisni avtor: mitja.skudnik@gozdis.si

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Gozd je naravni sistem, ki ga oblikujejo številni živi in neživi dejavniki. Njihovi vplivi na gozd so različni, pogosto težko predvidljivi, in jih je zaradi prepletenosti sistema težko natančno prepoznati in opisati. Na razvoj gozdnih ekosistemov pomembno vpliva tudi človek z načinom gospodarjenja z gozdovi. Slovensko gospodarjenje z gozdovi temelji na treh temeljnih načelih, in sicer na načelu trajnosti, mnogonamenskosti in sonaravnosti (Bončina, 2009; Diaci, 2006). Z upoštevanjem teh načel želimo gozdarji družbi zagotavljati trajno izkoriščanje dobrin, ki jih nudijo gozdovi. Potrebe in želje ljudi se razlikujejo glede na lokacijo gozda, prioritete lastnikov in drugih obiskovalcev oz. uporabnikov gozda ter drugih deležnikov. Naštete dobrine in potrebe po njih niso nekaj statičnega, ampak se spreminjajo s časom in razvojem družbe. Načelo sonaravnosti usmerja gozdarje in lastnike gozdov k čim bolj rastiščem prilagojeni strukturi in drevesni sestavi gozdnih sestojev.

Za uresničevanje omenjenih načel je treba razumeti stanje, smer in hitrost razvoja gozda. Zato za potrebe upravljanja potrebujemo raznovrstne informacije o zgradbi gozda, drevesni sestavi in tudi spremembah v prostoru in času ter različnih vplivih na gozd, kot so na primer gozdnogospodarski in gozdnogojitveni ukrepi (Schelhaas in sod., 2018). Večino informacij pridobimo z gozdno inventuro, pod katero razumemo proces zbiranja različnih podatkov o gozdnih sestojih in njihovih rastiščih z objektivnimi statističnimi vzorčnimi metodami (Vidal in sod., 2016). Skupaj z drugimi viri so tako pridobljeni podatki o gozdnih ekosistemih nujni za celostno poznavanje njihovih stanj in razvojnih dinamik.

V Sloveniji, tako kot v številnih drugih evropskih državah, podatke o stanju gozdov zbiramo v dveh ločenih sistemih, in sicer: gozdna inventura za potrebe gozdnogospodarskega načrtovanja in velikoprostorska gozdna inventura (Skudnik in Hladnik 2018). Podatke za potrebe načrtovanja v gozdarstvu zbira Zavod za gozdove Slovenije (Poljanec in sod., 2019). Zbiranje podatkov je povezano z dinamiko obnove gozdnogospodarskih načrtov

gozdnogospodarskih enot (GGE) in se zato vsako leto posodobi informacije o stanju gozdov za eno desetino gozdnogospodarskih enot. Za izbrane enote se posodobi sestojno karto (cca 320.000 sestojev), karto funkcij gozdov ter za isto območje ponovijo izmere na sistematični mreži stalnih vzorčnih ploskvah (cca 98.000 SVP). Pridobljeni podatki služijo obnovi gozdnogospodarskih načrtov gozdnogospodarskih enot in območij.

Drugi sistem zbiranja podatkov je velikoprostorski Monitoring Gozdov in Gozdnih Ekosistemov (MGGE), katerega rezultate predstavlja ta prispevek. MGGE razvija in vodi Gozdarski inštitut Slovenije in pri tem sodeluje z Zavodom za gozdove Slovenije. V zadnjih letih sistem finančno v večinskem deležu vzdržuje Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano prek nalog Javne gozdarske službe.

Sistem MGGE temelji na kontrolni vzorčni metodi, podatki, zbrani na vzorčnih ploskvah, tako zagotavljajo časovno in prostorsko opredeljene ocene o stanju gozdov z znano statistično zanesljivostjo (Kovač in Hočevar, 2010). Statistična gozdna inventura je torej eden od načinov statističnega vzorčenja, v okviru katerega so vsi elementi vzorca izbrani na podlagi znanega, vnaprej predpisanega naključnega načina izbora. MGGE je bil na terenu izveden periodično na sistematični vzorčni mreži 4 km x 4 km, ki prekriva celotno državo, v pet- do sedemletnih intervalih (leta meritev so bila: 2000, 2007, 2012, 2018). Na ravni države to pomeni 759 (leto 2018) na terenu izmerjenih stalnih vzorčnih ploskev. Sistem torej temelji na sistematičnem vzorčenju, na podlagi katerega lahko poleg ocen o stanju posameznega kazalnika omogoči tudi oceno njene zanesljivosti v obliki vzorčne napake ali intervala zaupanja.

Večino znakov MGGE smo razvijali skladno z razvojem potreb in tehnik monitoringa. Pri tem smo upoštevali tudi mednarodna priporočila (npr. COST Akcija E43), saj je MGGE prav zaradi številnih priporočil, procesov in tudi tujih projektov v veliki meri usklajen z drugimi podobnimi mednarodnimi monitoringi (Alberdi in sod., 2016; Gschwantner in sod., 2019; Gschwantner in sod., 2016). Vse značilnosti MGGE opišejo kot v praksi vzpostavljen ter preverjen statistično utemeljen način spremljanja stanja in razvoja gozdov na nacionalni ravni.

Namen prispevka je prikazati stanje in razvoj slovenskih gozdov v zadnjih dveh desetletjih, izračunanimi s podatki MGGE. V prispevku so predstavljeni kazalci lesna zaloga, prirastek, posek in odmrlost ali mortaliteta oz. prisotnost novih sušic v slovenskih gozdovih, kot smo jih zaznali z velikoprostorskim monitoringom gozdov in gozdnih ekosistemov.

2 METODE

2 METHODS

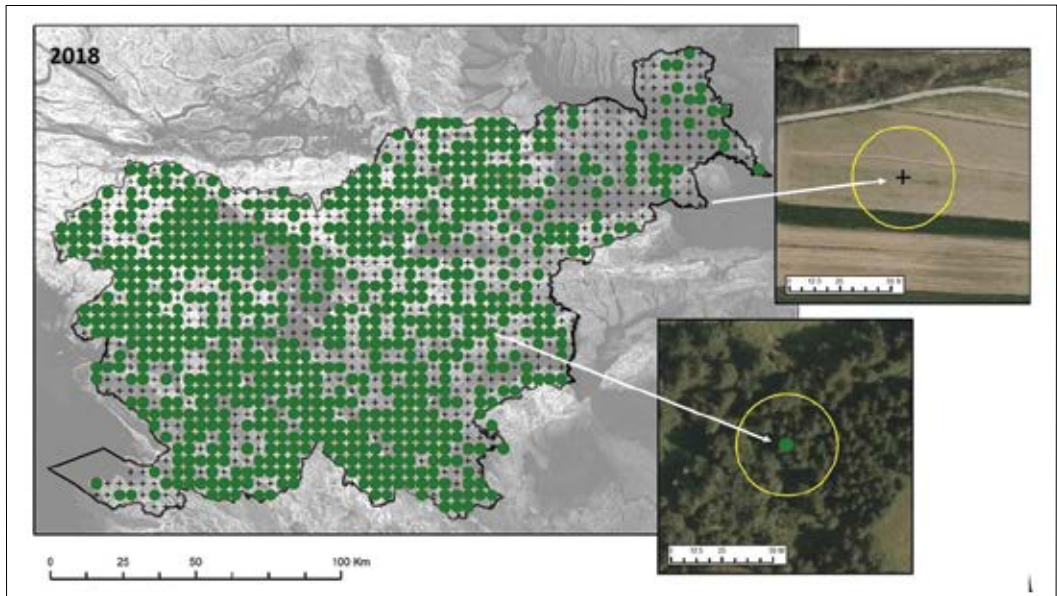
2.1 Metodološke osnove Monitoringa gozdov in gozdnih ekosistemov

2.1 Methodological bases of Forest Ecosystem Condition Survey

V prispevku uporabljeni podatki o gozdu so izmerjeni ali ocenjeni znotraj istega leta na trajnih vzorčnih ploskvah, ki so bile zasnovane na sistematični vzorčni mreži 4 km × 4 km prek celotne Slovenije (Slika 1). Trajna vzorčna ploskev je sestavljena iz treh koncentričnih krožnih ploskev z različnimi polmeri in ene krožne ploskve, ki je od središča oddaljena 10 m (Slika 2). Kazalci oz. znaki, ki

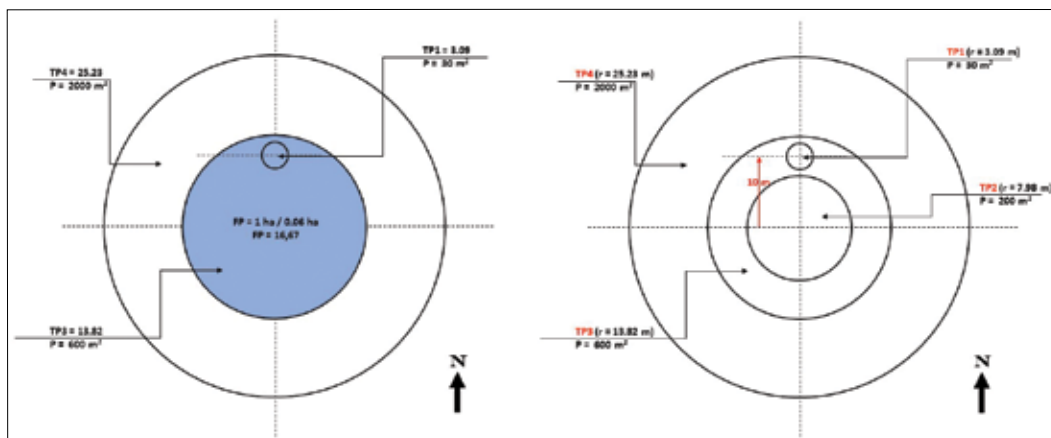
jih spremljamo na ploskvi, so podrobneje predstavljeni v Priročniku za terensko delo – gozdne inventure (Kovač in sod., 2014). Na podploskvi velikosti 30 m² snemamo vsa živa drevesa, katerih prsni premer je večji od nič, na podploskvi velikosti 200 m² pa drevesa, katerih prsni premeri so večji ali enaki 10 cm. Na podploskvi velikosti 600 m² snemamo samo drevesa, katerih prsni premer znaša 30 cm in več. Podploskev velikosti 2000 m² je namenjena spremljanju odmrlega lesa in opisu reliefnih, sestojnih in rastiščnih značilnosti.

Namen različno velikih površin vzorčnih podploskev je predvsem optimizacija porabe časa za izmero vseh kazalcev na ploskvi in upoštevanje načela, da pojave, ki se redkeje pojavljajo v prostoru, popišemo na večjih površinah in tako povečamo zanesljivost posploševanja na ostali gozdni prostor. V vzorec za izračun vrednosti popisa so vključene vse ploskve, ki so bile na podlagi fotointerpretacije in terenskega pregleda vključene v gozd, torej gozdna ali druga gozdna zemljišča glede na Zakon o gozdovih (Ur. l. RS nr. 30/1993.). V primeru, da v gozdu leži samo del ploskve, se to upošteva pri preračunu na hektarske vrednosti. Pri popisu na terenu torej upoštevamo



Slika 1: Sistematična vzorčna mreža 4 km x 4 km v letu 2018, ploskev v gozdu (desno spodaj), ploskev zunaj gozda (desno zgoraj)

Figure 1: Systematic sampling grid on 4 km by 4 km in year 2018, sampling plot in the forest (lower right), sampling plot outside forest (upper right)



Slika 2: Prostorska razporeditev vzorčnih ploskev – z označenimi polmeri in površinami podploskev ter faktorji površine, s katerimi izračunavamo hektarske vrednosti kazalcev

Figure 2: Spatial arrangement of sampling plots with marked radii and areas of subplots and conversion factors used to upscale indicators to hectare values

vsa drevesa, ki ležijo znotraj mejnega radija ploskve ob upoštevanju prsnega premera drevesa.

Znotraj istega koledarskega leta so izmerjene vse ploskve sistematične vzorčne mreže, kar omogoča oceno stanja gozdov in sprememb za določeno leto z znano vzorčno napako. V primeru, da je ploskev ob naslednjem popisu še vedno v gozdu, ploskev ponovni izmerimo in pridobimo ključne informacije o spremembah v času, kot so prirastek, mortaliteta in posek. Pri kazalcu drevesa se torej na terenu identificira ter izmeri vedno ista drevesa, doda se vrasla drevesa ter odkrije odstranjena (posekana) in tista, ki so v tem času odmrli. S ponovitvijo popisa tako zaznamo spremembe na ravni ploskve in posameznega drevesa (posek, mortaliteta, prirastek). V primeru zaraščanja opuščeni zemljišč v vzorcu zajamemo nove ploskve, v primeru krčitve gozda pa ploskve na takih zemljiščih opustimo.

2.2 Opis kazalcev značilnosti gozdov

2.2 Description of forest characteristics' indexes

2.2.1 Stanje gozda

2.2.1 Forest condition

2.2.1.1 Lesna zaloga

2.2.1.1 Growing stock

Lesna zaloga je prostornina oz. volumen lesa živih dreves v gozdu. Drevo postane mersko, ko je njegov

premer na višini 1,3 metra od tal vsaj 10 cm. Lesno zalogo podmerskega drevja obravnavamo posebej in jo označujemo kot prostornino lesa tankega drevja; to so drevesa, ki dosežejo višino vsaj 1,3 m in je njihov premer tanjši od 10 cm. Ocena lesne zaloge je predstavljena v kubičnih metrih na površino ($m^3 ha^{-1}$). Izračunamo jo s seštevanjem volumnov posameznih dreves na vzorčni ploskvi. Kot prostornino drevesa štejemo prostornino debeljadi skupaj z lubjem; torej prostornino debla in prostornino vseh vej, debelejših od 7 cm (Čokl, 1957; Gschwantner in sod., 2019). Volumen dreves izračunamo z enoparametrskimi funkcijami – prirejenimi francoskimi tarifami (Kotar, 2003), vhodni podatek je premer drevesa na prsni višini. Kot prostornino podmerskega drevesa štejemo prostornino debelca skupaj z lubjem. Za podmersko drevje izmerimo premer na višini 1,3 m in ocenimo višina drevesa na 0,5 m natančno. Volumen podmerskega drevja izračunamo po funkciji valja do višine 1,3 m in po funkciji stožca za zgornji del drevesca.

2.2.1.2 Volumen odmrlih lesnih kosov

2.2.1.2 Volume of the deadwood biomass

Volumen odmrlih lesnih kosov vključuje prostornino odmrlih (neživih) dreves odmrle lesne biomase ali odmrlih delov dreves, ki ležijo na ploskvi na dan izmere ploskve. Je pomemben kazalnik biotske pestrosti gozda. V to kategorijo

uvrščamo: podrtice (ležeče odmrlo drevo) in sušice (stoječe odmrlo drevo) ($d_{1,3} \geq 10$ cm), panje posekanih dreves, ki po sečnji ostanejo (srednji premer ≥ 10 cm in višina ≥ 20 cm), štrcelj – stoječi odlomljeni del debla drevesa (srednji premer ≥ 10 cm in višina $\geq 0,5$ m), lesni kos – del drevesa, ki leži na tleh, na primer odlomljene veje (srednji premer ≥ 10 cm in dolžina $\geq 0,5$ m). Volumen podrtic in sušic izračunamo enako kot volumen stoječih dreves (glej poglavje 2.2.1.1), medtem kot volumne panjev, štrcljev in kosov izračunamo po formuli za volumen valja.

2.2.2 Spremembe gozda

2.2.2 Forest changes

2.2.2.1 Bruto volumenski prirastek z vrstjo in volumenskim prirastkom posekanih dreves

2.2.2.1 Gross volume increment including ingrowth and volume increment of the felled trees

Prirastek lesne zaloge pomeni spremembo lesne zaloge na vzorčni ploskvi med dvema zaporednima meritvama. Oceno povprečnega tekočega letnega prirastka, ki je izražena v kubičnih metrih na površino ($m^3 ha^{-1} leto^{-1}$), izračunamo na podlagi seštevanja hektarskih volumenskih prirastkov dreves na vzorčni ploskvi. Pri izračunu bruto prirastka z vrstjo in prirastkom posekanih dreves upoštevamo (Lanz in sod., 2019):

1. živa drevesa, prisotna ob prejšnji in sedanji meritvi; prirastek je razlika med volumnom dreves v času prejšnje in sedanje meritve;
2. vrasla drevesa; volumenski prirastek je razlika med volumnom drevesa v času prejšnje in sedanje meritve. Vrasla drevesa so tista, ki so od zadnje meritve dosegla prsni premer vsaj 10 cm;
3. posekana drevesa; prirastek je razlika med volumnom dreves v času prejšnje meritve in ocenjenim volumnom v času poseka (polovica inventurnega obdobja);
4. odmrlo drevesa; prirastek je razlika med volumnom dreves v času prejšnje meritve in ocenjenim volumnom v času posušitve (polovica inventurnega obdobja).

V primeru posekanih, odmrlih, pozabljenih ali napačno izmerjenih dreves njihov izhodiščni ali končni volumen ocenimo na podlagi prirastnega

modela (Jevšenak in Skudnik, 2021). Za izračun povprečnega letnega prirastka skupni prirastek v obravnavanem obdobju delimo s številom let, ki so pretekla med prejšnjo in sedanho meritvijo. Povprečni letni prirastek smo izračunali za dve obdobji: 2007–2012 in 2012–2018.

Ločimo bruto in neto prirastek. Neto prirastek izračunamo, če od bruto prirastka odštejemo volumen vseh dreves, ki so odmrli v zadnjem inventurnem obdobju ter so bila zato odstranjena iz fonda lesne zaloge (Tomter in sod., 2016). Torej od bruto prirastka odštejemo volumen novih sušic in podrtic, da izračunamo neto prirastek.

2.2.2.2 Posek

2.2.2.2 Felling

Posek je volumen posekanih dreves med dvema zaporednima popisnima obdobjema. Ocena poseka je izražena v kubičnih metrih na površino ($m^3 ha^{-1} leto^{-1}$). Izračunamo jo na podlagi seštevanja volumnov posekanih dreves na vzorčni ploskvi. Izračun volumna drevesa oz. lesne zaloge je predstavljen v poglavju 2.2.1.1. Kot posekana drevesa upoštevamo vsa merska drevesa, ki so na višini 1,3 m od tal debelejša od 10 cm in ki so bila posekana med prejšnjim in sedanjim merjenjem – pri sedanjem merjenju na mestu posekanega drevesa opazimo panj. Premer v času poseka (sredina periode) ocenimo na podlagi prirastka dreves na ploskvi (Jevšenak in Skudnik, 2021). Za izračun povprečnega letnega poseka količino poseka delimo s številom let, ki so pretekla med prejšnjo in sedanho meritvijo. Povprečni letni posek smo izračunali za dve obdobji: 2007–2012 in 2012–2018.

2.2.2.3 Naravna mortaliteta

2.2.2.3 Natural mortality

Naravna mortaliteta (sušice in podrtice) je volumen lesa dreves, odmrlih med dvema popisoma, ki so bile prisotne v času obiska ploskve. Ocena prikazuje stanje med dvema meritvama vzorčne ploskve. Ocena torej ne vključuje volumna odmrlih dreves, ki so bila posekana med dvema popisoma in je vključen v posek. Ocena tekoče mortalitete je izražena v kubičnih metrih na površino ($m^3 ha^{-1} leto^{-1}$). Izračunamo jo na podlagi seštevanja ugotovljenih volumnov dreves v zadnjem

inventurnem obdobju odmrlih dreves na vzorčni ploskvi. Izračun volumna drevesa oz. lesne zaloge je predstavljen v poglavju 2.2.1.1. Kot naravno mortaliteto upoštevamo vsa odmrla drevesa, ki so na višini 1,3 m od tal debelejša od 10 cm in so odmrla med prejšnjim in sedanjim merjenjem – pri sedanjem merjenju je drevo prisotno, vendar ni več živo (sušica ali podrtica). Mortalitetu smo izračunali za obdobji: 2007–2012 in 2012–2018.

2.3 Opis vzorčenja in izračuni

2.3 Description of the sampling and calculations

2.3.1 Izbira vzorca na krožnih ploskvah znane površine

2.3.1 Selection of the sample on the circular plots with known area

MGGE temelji na kontrolni vzorčni metodi, katere osnova je merjenje različnih kazalcev na stalnih vzorčnih ploskvah z znano površino. Pogoji, da je spremljani znak (npr. drevo) vključen v vzorec, je, da je znotraj mejnega radija ploskve. Za vsak znak so določene minimalne mere in znana je površina, na kateri znak snemamo oz. merimo (Preglednica 1). Vsak znak ima torej določen faktor površine (FP), s pomočjo katerega njegovo vrednost lahko preračunamo na hektar (Slika 2 – desno). Z uporabo različnih površin ploskev

se torej pri obračunih podatkov spreminjajo tudi faktorji za izračun hektarskih vrednosti.

Seštevek hektarskih vrednosti za en vzorec je podatek za ploskev (Enačba 1). Seštevek vseh vzorcev, uravnotežen s številom vzorcev, je podatek za stratum, ki je v našem primeru celotna država (Enačba 2).

$$X_i = \sum_{j=1}^d y_j * FP \quad \text{Enačba 1}$$

x_i = i -ti vzorec (ploskev); y_j = j -ti znak (npr. drevo), d = število znakov (npr. dreves), FP = faktor površine

2.3.2 Ocena povprečja populacije in ocena variance

2.3.2 Estimation of the average of te population and estimation of the variance

Vzorčna mreža MGGE 4 km x 4 km temelji na centralnem sistematičnem vzorčenju (»Centric Systematic Sampling«) (CSS), kjer vzorec predstavlja mreža vzorčnih ploskev, ki so med seboj po koordinati X in Y oddaljene s konstantno razdaljo (Mandallaz, 2008). Glede na teorijo koordinate izhodiščne točke (XY) izberemo naključno, nato z izbiro razdalje med dvema točkama določimo lokacije vsem drugim točkam v vzorcu. Sistem je podrobneje opisan v Cochran (1977, str. 205-206).

Preglednica 1: Struktura ploskve z mejnimi vrednostmi
Table 1: Plot structure with threshold values

Znak / Character	Podploskev / Subplot			
	TP1	TP2	TP3	TP4
POPIS ŽIVIH DREVES / LIVE TREES SURVEY				
Stoječe živo drevje / Standing live trees	$0 \text{ cm} < D_{1,3} < 10 \text{ cm}$ $H \geq 1,3 \text{ m}$	$D_{1,3} \geq 10 \text{ cm}$	$D_{1,3} \geq 30 \text{ cm}$	/
POPIS ODMRLIH LESNIH KOSOV / DEADWOOD BIOMASS SURVEY				
Odmrlo drevje (sušica/podrtica)/ Standing / lying dead tree	$D_{1,3} \geq 10 \text{ cm}$		$D_{1,3} \geq 30 \text{ cm}$	
Panj, štor / Stump	$D \geq 10 \text{ cm}; H \geq 20 \text{ cm}$		/	
Štrcelj / Snag	$D \geq 10 \text{ cm}; H \geq 50 \text{ cm}$		$D \geq 30 \text{ cm}; H \geq 50 \text{ cm}$	
Lesni kos / Coarse woody debries	$D \geq 10 \text{ cm}; L \geq 50 \text{ cm}$		$D \geq 30 \text{ cm}; L \geq 50 \text{ cm}$	

V prispevku je bila ocena povprečja (aritmetične sredine) populacije izračunana na podlagi:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Enačba 2}$$

n = število vzorcev, x_i = i -ti vzorec

Za sistematično vzorčenje ni nepristranske cenilke za oceno variance aritmetične sredine vzorca (Iachan, 1982). Tako je pri sistematičnem vzorčenju za oceno variance (Enačba 3) najpogosteje uporabljena enaka cenilka kot pri enostavnem slučajnostnem vzorčenju (Bartolucci in Montanari, 2006; Mandallaz, 2008). Uporaba te cenilke daje prevelike ocene glede na resnično napako variance. Tovrstno oceno imenujemo konzervativna ocena, saj vemo, da je resnična napaka ocene aritmetične sredine vzorca manjša (v mnogih primerih veliko manjša) od ocene, ki je bila izračunana (Williams, 1956).

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad \text{Enačba 3}$$

s^2 = ocena variance; x_i = i -ti vzorec; \bar{x} = ocenjeno povprečje, n = število vzorcev

Pri izražanju zanesljivosti ocen smo za vsak predstavljen kazalnik oz. oceno povprečja izračunali tudi relativno vzorčno napako ocene (E %):

$$E \% = t * \frac{s}{\sqrt{n}} / \bar{x} * 100 \quad \text{Enačba 4}$$

E = vzorčna napaka v odstotkih; \bar{x} = ocenjeno povprečje, s = vzorčni standardni odklon; t = vrednost pri verjetnosti signifikantnosti 0,05 (95 %); n = število vzorcev

2.3.3 Testiranje razlik med povprečji populacije med leti

2.3.3 Testing of the differences of the population averages between the years

Za testiranje razlik med povprečnimi vrednostmi med leti smo uporabili neparametrični t-test za dva odvisna vzorca, in sicer Wilcoxon Rank sum test. Med sabo smo primerjali dve zaporedni meritvi na ravni ploskovnih vrednosti in tako ugotavljali, ali je razlika med letoma statistično značilna. Vse statistične analize in grafe smo naredili v programskem okolju R (R Development Core Team, 2020).

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Lesna zaloga živih dreves in skupni volumen odmrlih lesnih kosov

3.1 Growing stock of living trees and total volume of the deadwood biomass

Ocena povprečne lesne zaloge v slovenskih gozdovih se je od leta 2000 do leta 2012 večala, in sicer je leta 2000 znašala 299 m³ ha⁻¹ (vzorčna napaka (E = 5 %), leta 2007 314 m³ ha⁻¹ (E = 4 %) in leta 2012 334 m³ ha⁻¹ (E = 4 %) (Preglednica 2). V obdobju 2012–2018 se je sicer ocena lesne zaloge zmanjšala na 330 m³ ha⁻¹ (E = 4 %), vendar razlike med letoma niso bile statistično značilne ($p = 0,682$). Razlog za nekoliko nižjo ocenjeno lesno zalogo v letu 2018 sta predvsem povečana intenzivnost sečnje in velik delež odmrlih dreves v obdobju 2012–2018, na katero so, poleg povečanega rednega poseka, vplivale predvsem velikopovršinske naravne ujme, kot sta žledolom (2014) in vetrolom (2017), ter gradacije podlubnikov (2014–2018), ki so se dogajale na širšem območju Slovenije od leta 2014 naprej (Poljanec in Bončina, 2020). Pri interpretaciji trenda je treba upoštevati, da primerjamo ocene povprečij z vzorčno napako 4 %, kar pomeni, da je bil npr. interval zaupanja v letu 2018 330 ± 13 m³ ha⁻¹. Statistično značilne razlike med ocenjenimi povprečji lesne zaloge so bile v letih 2000–2012 ($p = 0,005$), 2000–2018 ($p = 0,013$) in 2007–2012 ($p = 0,052$).

V zadnjih 20 letih se je razmerje v lesni zalogi med iglavci in listavci močnejše prevesilo v korist listavcev. To gre predvsem na račun zmanjševanja deleža smreke in povečevanja deleža bukke. Leta 2018 je bila prvič lesna zaloga bukke višja (110 m³ ha⁻¹) od lesne zaloge smreke (94 m³ ha⁻¹) (Slika 3). Smreka in bukev skupaj zavzemata več kot 60 % celotne lesne zaloge. Od drevesnih vrst jima sledita jelka (26 m³ ha⁻¹) in hrast graden (18 m³ ha⁻¹).

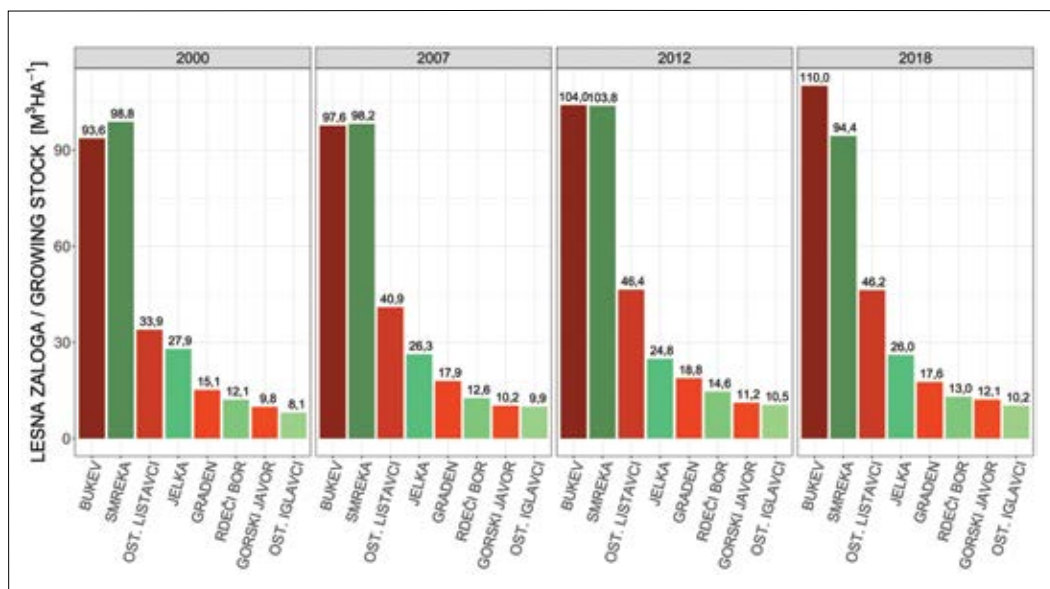
Količino podmerskega drevja ocenjujemo od leta 2007, ko je ocena znašala 3,9 m³ ha⁻¹ (E = 16 %) (Preglednica 2). Lesna zaloga podmerskega drevja znaša le dober odstotek skupne lesne zaloge merskega drevja, je pa ta informacija pomembna tudi z vidika poznavanja uspešnosti pomlajevanja posameznih drevesnih vrst. V njej zelo prevladujejo

Preglednica 2: Ocena povprečne lesne zaloge (LZ) in njene vzorčne napake za drevesa, tanko živo drevje ter odmrlo lesno biomaso

Table 2: The estimates of growing stock (GS) and standard error for trees, smaller trees and deadwood biomass.

	2000	2007	2012	2018
Število vzorčnih ploskev / Number of sampling plots	582	724	760	759
LZ drevnine ($d_{1,3} \geq 10$ cm) / GS of the trees [m ³ ha ⁻¹]				
IGLAVCI / CONIFERS	147 ± 10 %	147 ± 9 %	156 ± 9 %	144* ± 10 %
LISTAVCI / BROADLEAVES	152 ± 7 %	167 ± 6 %	182 ± 6 %	186* ± 6 %
SKUPAJ / TOTAL	299 ± 5 %	314 ± 4 %	334* ± 4 %	330* ± 4 %
LZ podmerskega drevja ($d_{1,3} < 10$ cm) / GS of the smaller trees [m ³ ha ⁻¹]				
IGLAVCI / CONIFERS	–	0,70 ± 36 %	0,74 ± 27 %	0,60 ± 29 %
LISTAVCI / BROADLEAVES	–	3,16 ± 18 %	3,87 ± 14 %	2,95 ± 15 %
SKUPAJ / TOTAL	–	3,16 ± 16 %	4,61 ± 12 %	3,55 ± 13 %
Volumen odmrlih lesnih kosov ($d_{1,3} \geq 10$ cm in $h \geq 0.50$ m) / Volume of the deadwood biomass [m ³ ha ⁻¹]				
IGLAVCI / CONIFERS	–	9,3 ± 16 %	9,2 ± 14 %	10,8 ± 15 %
LISTAVCI / BROADLEAVES	–	10,9 ± 15 %	10,6 ± 14 %	13,4 ± 14 %
SKUPAJ / TOTAL	–	20,2 ± 11 %	19,8 ± 10 %	24,2 ± 10 %

* ocena upošteva tudi nedostopne ploskve



Slika 3: Lesna zaloga debeljadi za najpogostejše drevesne vrste in skupini drugih listavcev ter iglavcev
Figure 3: Growing stock of the most representative tree species and other broadleaves and conifers

listavci, saj njihov delež zavzema več kot 4/5 celotne lesne zaloge tankega drevja. Ocenjena povprečna lesna zaloga podmerskega drevja je bila največja leta 2012, in sicer $4,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ($E = 12 \%$), leta 2018 pa se je zmanjšala na $3,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ($E = 13 \%$). Med ocenjenimi povprečji so statistično značilne razlike med letoma 2007–2012 ($p = 0,008$) in med letoma 2012–2018 ($p = 0,030$). Leta 2018 je bukev predstavljala 28 % lesne zaloge podmerskega drevja, sledijo pa ji mali jesen (18 %), smreka (12 %) in črni (8 %) ter beli gaber (6 %). Od plemenitih listavcev je najbolje zastopan gorski javor s 4 %. Jelke je le 3 % lesne zaloge podmerskega drevja. Relativno velika nihanja v ocenah lesne zaloge podmerskega drevja med leti bi lahko nakazovala tudi na metodološke težave glede velikosti vzorčne površine in potrebo po povečanju vzorčne površine za izmero podmerskega drevja. Drevesna sestava podmerskega drevja nakazuje spremembe drevesne sestave slovenskih gozdov v naslednjih desetletjih.

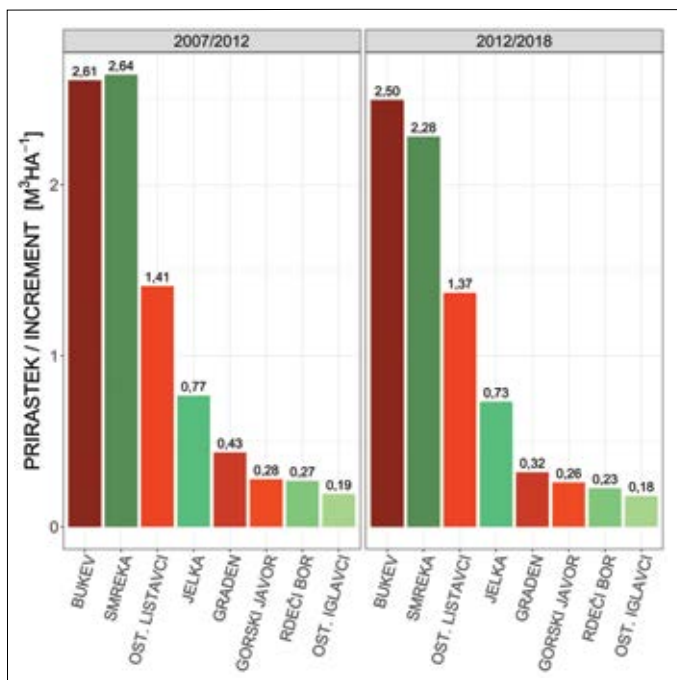
Razlika med oceno volumna odmrle lesne mase med letoma 2007 in 2012 ni bila statistično značilna.

($p = 0,628$), od leta 2012 do 2018 pa se je povečala ($p = 0,002$) in je znašala $24,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \pm 10 \%$ kar je 7,4 % lesne zaloge (Preglednica 2). Tako se v Evropi Slovenija uvršča med države z velikim deležem odmrle lesne biomase v gozdovih (Seidling in sod., 2014). Ocena skupne lesne zaloge odmrle biomase se je povečala za $4,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, lesna zaloga odmrle biomase iglavcev za $1,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ in listavcev za $2,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Pri tem je treba opozoriti, da je večji delež odmrle lesne mase listavcev tudi posledica poslednjega izvajanja sanitarnih ukrepov pri iglavcih. Od leta 2012 do 2018 je več odmrle biomase sušic in podrtic iglavcev in listavcev. Povečevanje odmrle biomase v zadnjem obdobju povezujemo predvsem s pogostejšimi ujmani in gradacijami podlubnikov, delno pa je k temu prispevalo tudi načrtno puščanje odmrle biomase v gozdu kot pomemben ukrep za ohranjanje biotske raznovrstnosti. Večina odmrle biomase, predvsem na račun listavcev, je manjših premerov ($< 30 \text{ cm}$), od leta 2007 do 2018 pa smo zaznali trend povečevanja deleža debelejših odmrle biomase ($\geq 30 \text{ cm}$).

Preglednica 3: Ocena povprečnega letnega prirastka, poseka in naravne mortalitete za inventurni obdobji 2007–2012 in 2012–2018.

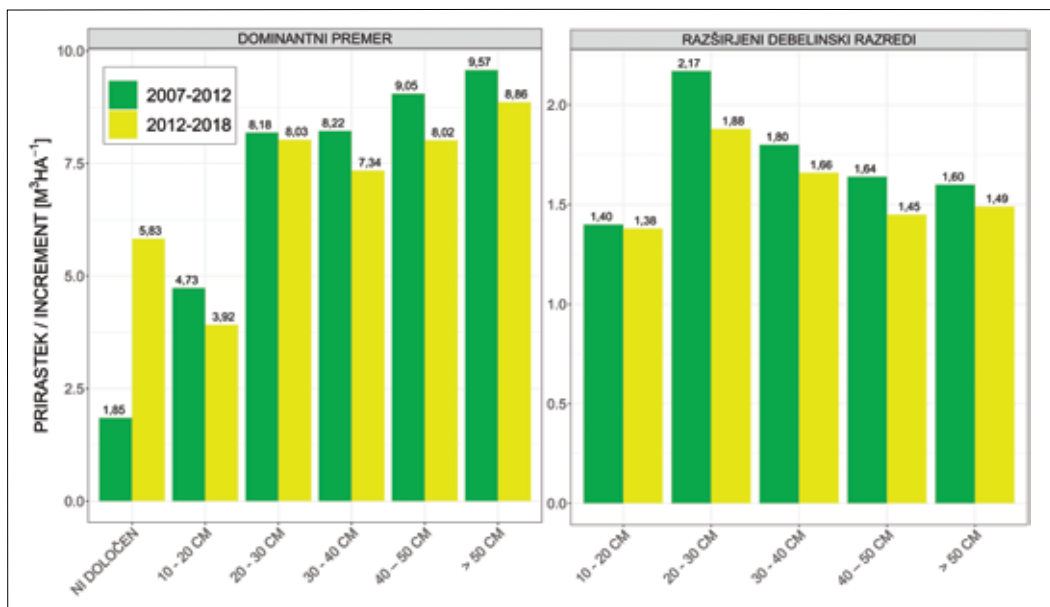
Table 3: The estimates of mean annual increment with ingrowth, annual felling and forest mortality for the last two inventory periods, i.e. 2007–2012 and 2012–2018

	2007–2012	2012–2018
Število vzorčnih ploskev / Number of sampling plots	719	749
	Povprečni letni prirastek z vrastjo / Average annual increment with ingrowth [$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$]	
IGLAVCI / CONIFERS	$3,87 \pm 10 \%$	$3,42 \pm 10 \%$
LISTAVCI / BROADLEAVES	$4,73 \pm 6 \%$	$4,44 \pm 6 \%$
SKUPAJ / TOTAL	$8,60 \pm 4 \%$	$7,86 \pm 4 \%$
	Povprečni letni posek / Average annual felling [$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$]	
IGLAVCI / CONIFERS	$2,33 \pm 26 \%$	$4,15 \pm 27 \%$
LISTAVCI / BROADLEAVES	$1,97 \pm 28 \%$	$2,12 \pm 21 \%$
SKUPAJ / TOTAL	$4,30 \pm 20 \%$	$6,27 \pm 20 \%$
	Povprečna letna mortaliteta / Average annual mortality [$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$]	
IGLAVCI / CONIFERS	$0,43 \pm 53 \%$	$0,82 \pm 36 \%$
LISTAVCI / BROADLEAVES	$0,56 \pm 24 \%$	$1,40 \pm 23 \%$
SKUPAJ / TOTAL	$0,99 \pm 27 \%$	$2,22 \pm 20 \%$



Slika 4: Povprečni letni bruto prirastek z vrastjo in prirastkom posekanih dreves po drevesnih vrstah in za skupino ostali listavci ter iglavci

Figure 4: Average annual gross increment with ingrowth and increment of felled trees for the most representative tree species and other groups of broadleaves and conifers



Slika 5: Povprečni letni bruto prirastek z vrastjo in prirastkom posekanih dreves po dominantnem premeru (levo) in po razširjenih debelinskih razredih (desno)

Figure 5: Average annual gross increment with ingrowth and increment of felled trees by dominant DBH (left) and by DBH classes (right)

3.2 Prirastek

3.2 Increment

Povprečni letni bruto prirastek z vrstjo in prirastkom posekanih dreves je v obdobju 2007–2012 znašal $8,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ ($E = 4 \%$), nato pa se je v obdobju 2012–2018 zmanjšal na $7,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ ($E = 4 \%$) ($p = 0,001$) (Preglednica 3). Sprememba bruto prirastka glede na drevesno sestavo torej sovпада s spremembo lesne zaloge (Slika 4). Drevesni vrsti, ki prispevata največ volumna novega lesa, sta torej bukev in smreka (skupaj 61 % celotnega volumenskega prirastka v obdobju 2012–2018). Glede na obdobje 2007–2012 se je v obdobju 2012–2018 spremenilo razmerje v prirastku med bukvijo in smreko. Skupni bruto volumenski prirastek smreke se ja zmanjšal iz 2,6 na $2,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$. Za $0,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ pa se je zmanjšal tudi bruto prirastek z vrstjo pri bukvi.

Če smo ploskve razdelili glede na dominantni premer (sto najdebelejših dreves na ha), so bili tako pri iglavcih kot pri listavcih največji volumenski prirastki pri dominantnem premeru nad 50 cm in sicer 9,57 oz. $8,86 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$. Glede na obdobje 2007–2012 se je volumenski prirastek v obdobju 2012–2018 največ znižal v sestojih z dominantnim premerom nad 30 cm, kar bi glede na razvojno fazo ustrezalo debeljakom. Slika 5 (desno) prikazuje, da volumensko najbolj priraščajo drevesa, katerih premer je med 20 in 30 cm (2,17 oz. $1,88 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$), kar v deležu celotnega prirastka predstavlja približno 25 %.

3.3 Posek

3.3 Felling

Ocenjen povprečni letni posek se je med analiziranimi obdobjema 2007–2012 in 2012–2018 povečal iz $4,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ ($E = 20 \%$) na $6,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ ($E = 20 \%$) (Preglednica 3) ($p < 0,001$). Pri interpretaciji rezultatov poseka je treba opozoriti na relativno veliko vzorčno napako, ki je posledica majhnega števila ploskev na mreži 4 km x 4 km. Tako bi 20 % vzorčna napaka pomenila, da je bil posek za obdobje 2012–2018 v intervalu zaupanja za oceno $6,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1} \pm 1,26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$. Največje vrednosti poseka na ploskvah smo v zadnjem obdobju registrirali na območjih, ki so bila najbolj prizadeta zaradi ujm, predvsem območje kočevskih in snežniških

gozdov, osrednja Slovenija, na blejskem območju in Koroškem (Slika 6). Skoraj 51 % delež poseka v zadnjem obdobju predstavlja posek smreke (Slika 7), kar je posledica obsežnih sanitarnih sečenj zaradi napada podlubnikov. Povečan posek smreke je pomembno vplival tudi na lesno zalogo smreke in na njen bruto volumenski prirastek.

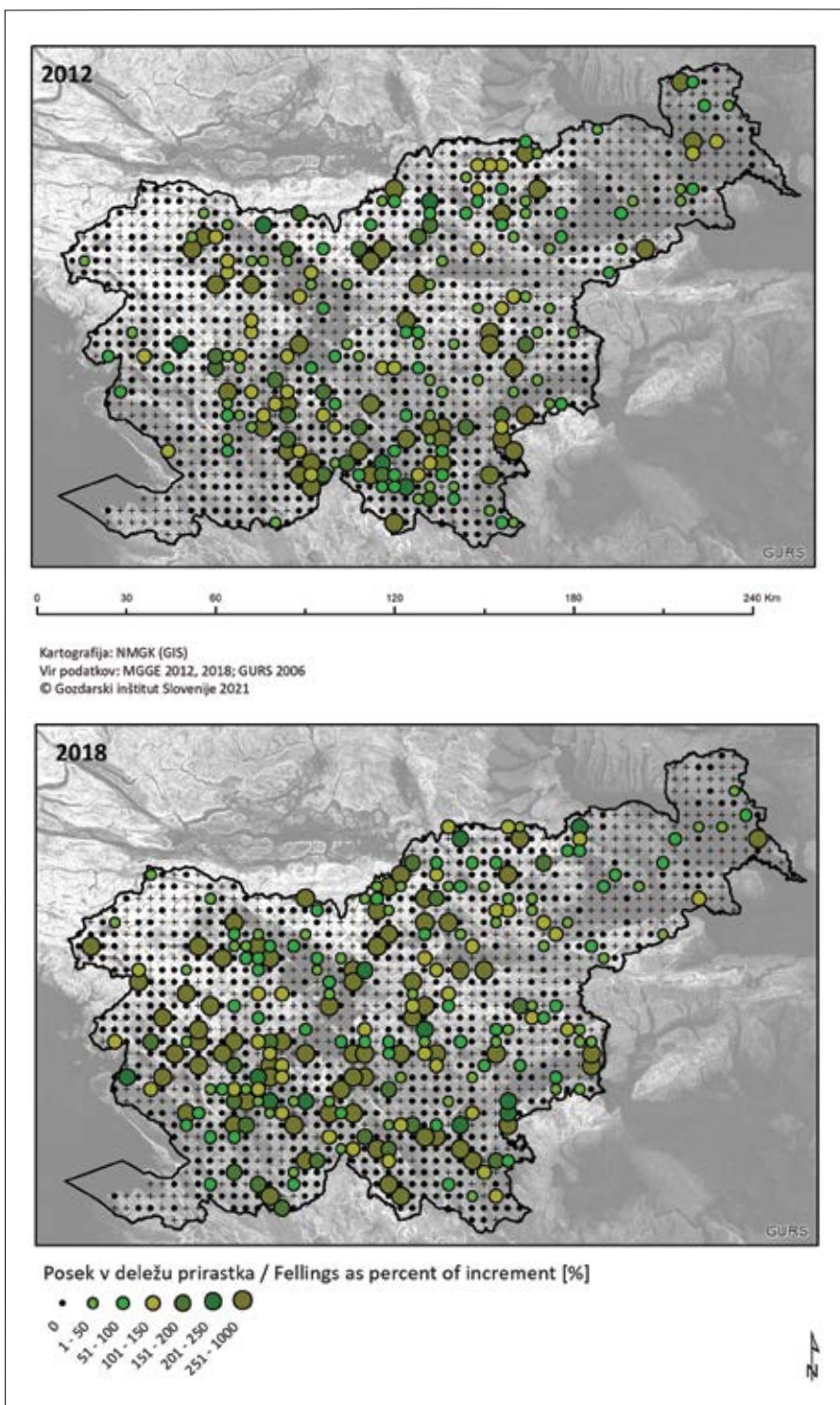
Za obdobje 2007–2012 je iz strukture poseka po debelinskih razredih razvidno, da je bilo največ lesne mase posekane v debelinskem razredu 20–30 cm (redčenja) in v debelinskem razredu nad 50 cm (končni posek). Za obdobje 2012–2018 se je poleg vseh kategorij zelo povečal tudi posek v debelinskem razredu 30–40 cm (Slika 8), kar je posledica ujm in gradacij podlubnikov – veter in podlubniki najpogosteje napadejo sestoje takšnih debelin (Klopčič in sod., 2009).

3.4 Naravna mortaliteta

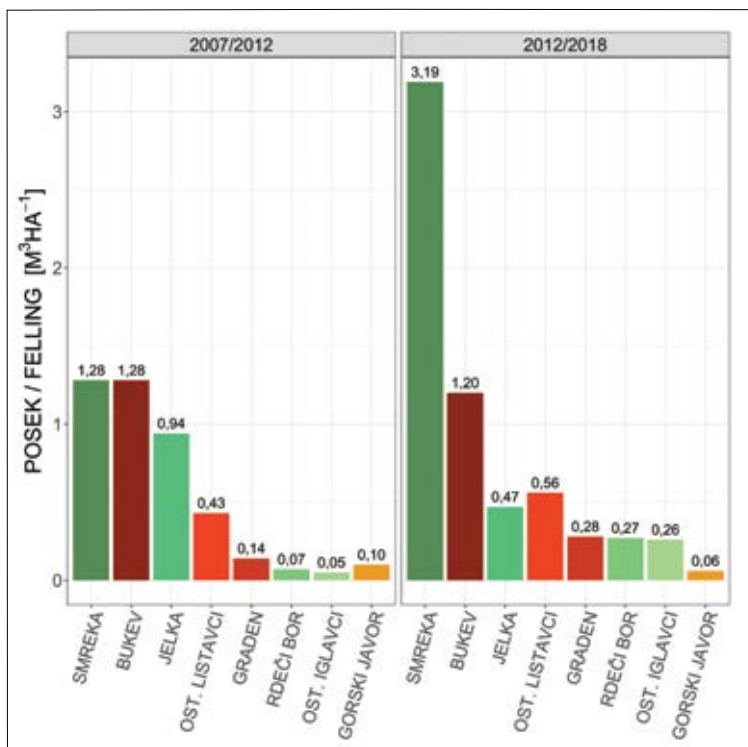
3.4 Natural mortality

Odmrlost drevesa je rezultat številnih, med seboj povezanih dejavnikov, kot so kompeticija, suša, patogeni, insekti, poškodbe zaradi snega, vetra, zmrzali itn., ki skupno zmanjšajo vitalnost drevesa (Waring, 1986). V Sloveniji je bila v obdobju 2000–2007 povprečna letna naravna mortaliteta $1,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ ($E = 19 \%$), v obdobju 2007–2012 se je zmanjšala na $1,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ ($E = 27 \%$), vendar razlika ni bila statistično značilna ($p = 0,260$), v zadnjem obdobju, 2012–2018 pa se je povečala na $2,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ ($E = 20 \%$) ($p = < 0,001$) (Preglednica 3) kar je 0,7 % od skupne lesne zaloge. Za Evropo je tekoča stopnja mortalitete dreves 0,5 % (povprečni odstotek dreves, ki so se posušila v obdobju 2000–2012) (Neumann in sod., 2017). Prostorsko gledano se je količina odmrlih dreves povečala predvsem v zahodni in osrednji Sloveniji (Slika 9).

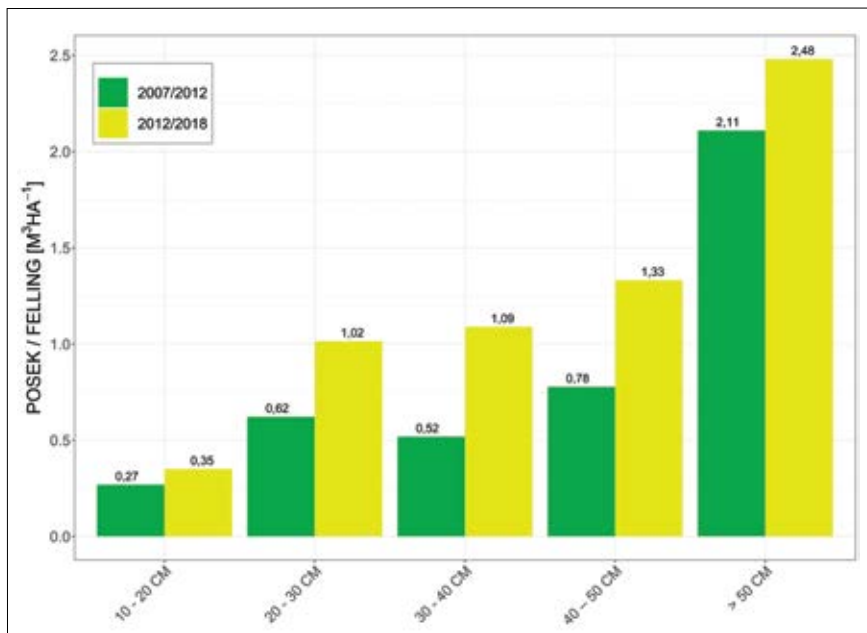
Iz 0,4 na $0,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ se je na vzorčnih ploskvah povečala mortaliteta iglavcev, medtem ko se je iz 0,6 na $1,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ povečala mortaliteta listavcev. Glede na drevesne vrste se je delež sušic najbolj povečal pri kategoriji ostali listavci (gaber, kostanj, cer, jesen ...), smreki, bukvi in tudi pri rdečem boru. V zadnjem obdobju je poglobitni razlog za povečanje odmrlosti listavcev verjetno v tem, da je po velikih poškodbah v gozdovih



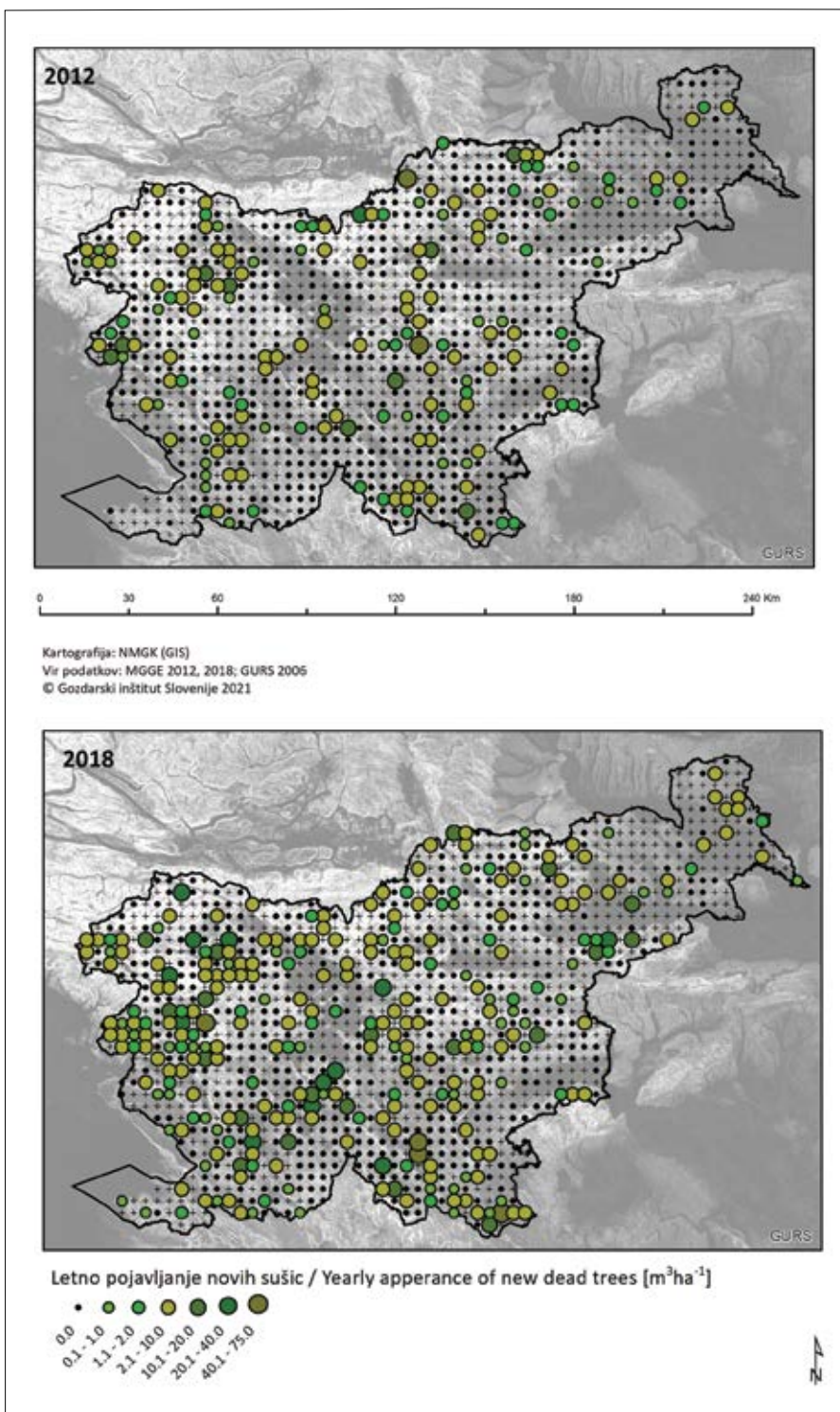
Slika 6: Ploskve po razredih intenzivnost poseka glede na bruto volumenski prirastek
Figure 6: Sampling plots by classes of felling in percent of gross increment



Slika 7: Povprečni letni posek po drevesnih vrstah
 Figure 7: Average annual felling by tree species



Slika 8: Povprečni letni posek po razširjenih debelinskih razredih
 Figure 8: Average annual felling by DBH classes



Slika 9: Ploskve po razredih letnega pojavljanja novih sušic
Figure 9: Sampling plots by classes of yearly appearance of new dead trees

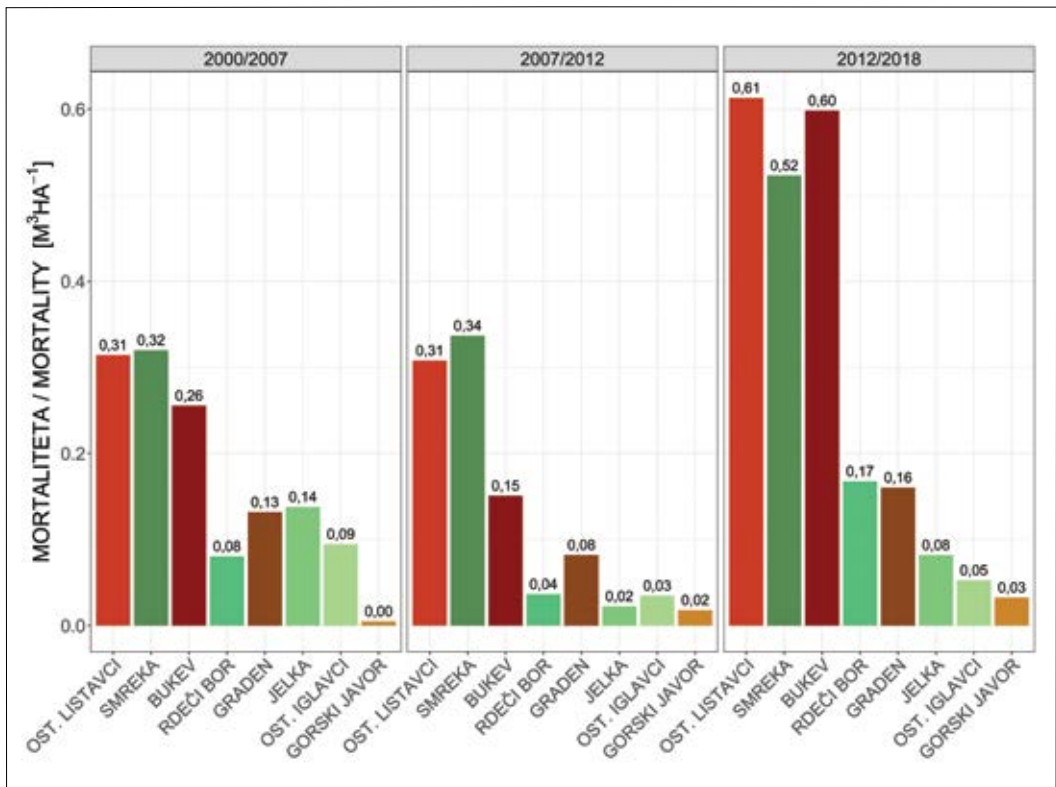
ostala večja količina odmrlih dreves listavcev, saj je bila sanacija gozdov usmerjena predvsem v spravilo poškodovanih iglavcev, predvsem smreke (Breznikar, 2018; Veselič in sod., 2015).

Prikaz povprečne letne mortalitete pokaže, da se je v zadnjem obdobju povečal delež novih sušic v drugem in tretjem debelinskem razredu, torej od 20 do 40 cm (Slika 11). V prejšnjih obdobjih je bil največji delež novih sušic v prvem in drugem debelinskem razredu. Luo in Chen (2013) ugotavljata, da podnebne spremembe in tudi procesi razvoja gozdov vplivajo na začasno povečanje umrljivosti v gozdovih. Njihove ugotovitve tudi nakazujejo, da je povečanje naravne mortalitete, povezane s podnebnimi spremembami, bistveno večje v mladih gozdovih kot v starih. Večji vpliv v mlajših gozdovih je posledica njihove večje občutljivosti za temperaturne spremembe in sušo.

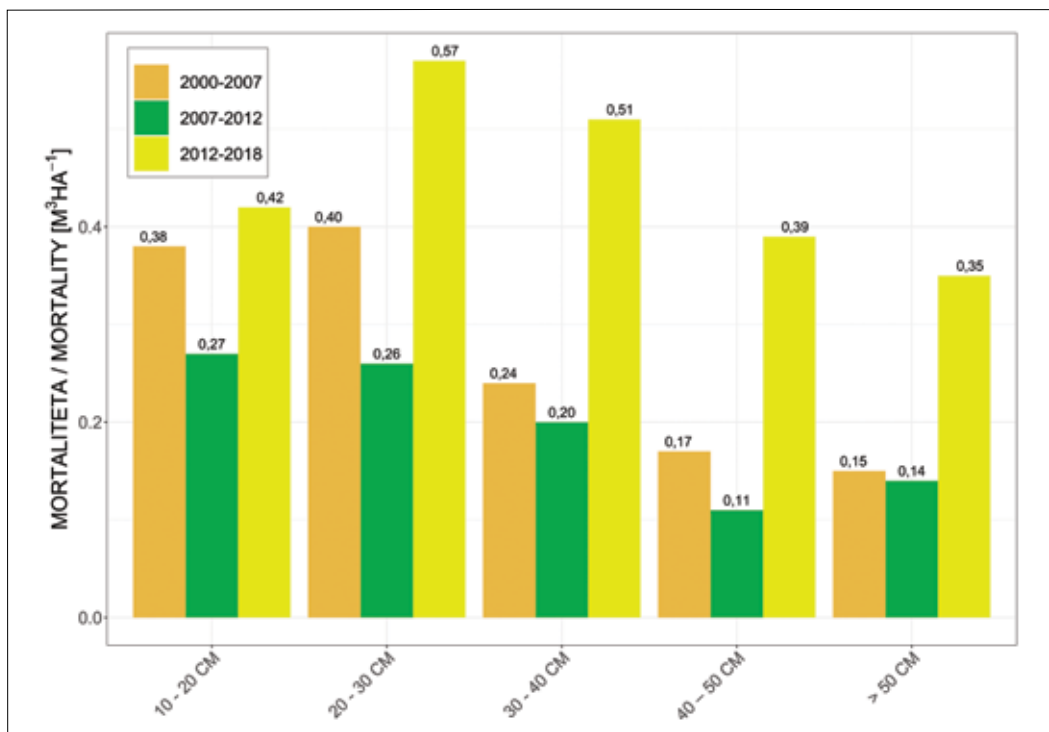
4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

V slovenskih gozdovih se je lesna zaloga od leta 2000 do leta 2012 povečevala (iz $299 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \pm 5 \%$ na $334 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \pm 4 \%$). Po letu 2012 se je zaradi posledic ujm in posledično povečane sanitarne sečnje trend večanja opočasnil. Tako je v letu 2018 lesna zaloga znašala $330 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ($E = 4 \%$), kar je še vedno na zgornji meji intervala 320 in $330 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, ki je bil arbitrarno določen v Resoluciji o Nacionalnem gozdnem programu kot optimalna lesna zaloga (ReNGP, Ur. l. RS, nr. 111/07). V obdobju 2012–2018 se je v Sloveniji bistveno povečala količina poseka, predvsem iglavcev. Glede na podatke popisa iz leta 2018 bi lahko sklepali, da so ujme in posledične gradacije podlubnikov prizadele predvsem smreko, ki se pri nas pogosto pojavlja na neustreznih rastiščih. Posledično se je drevesna sestava spremenila in kot



Slika 10: Povprečna letna mortaliteta po drevesnih vrstah
 Figure 10: Average annual mortality by tree species



Slika 11: Povprečna letna mortaliteta po razširjenih debelinskih razredih
 Figure 11: Average annual mortality by DBH classes

najpomembnejšo drevesno vrsto v lesni zalogi je smreko zamenjala bukev. Tako slovenski gozdovi postajajo vse bolj bukovi gozdovi. Pri iglavcih se je v zadnjih letih povečala lesna zaloga jelke in macesna.

V zadnjem obdobju so pogoste ujme in gradacije podlubnikov negativno vplivale na rast gozdov in s tem na zmanjšanje povprečnega letnega bruto prirastka z vrastjo in prirastkom posekanih dreves iz 8,6 na 7,9 m³ ha⁻¹ leto⁻¹. Povečala se je ocena količine odmrle lesne biomase in deleža stoječih sušic oz. tekoče letne mortalitete, kar bi lahko pozitivno vplivalo na biotsko raznovrstnost in naravnost naših gozdov (Sandström in sod., 2019).

Na razvoj gozda vplivajo številni dejavniki in že v normalnih razmerah je njihov razvoj težko predvideti. Ob hitrem spreminjanju podnebja in vseh spremljajočih pojavih je negotovost razvoja gozdov še večja (Seidl in sod., 2017). Tako pričakujemo, da se bodo v prihodnje, tako kot drugod po svetu, tudi pri naših avtohtonih drevesnih vrstah spreminjali medvrstni odnosi, areali

rasti, rastne značilnosti in podobno (McDowell in sod., 2020). Zagotovo se bo v prihodnje še naprej krepil delež listavcev. Zaradi spremembe drevesne sestave bodo potrebne nujne reforme na področju lesnopredelovalne industrije, ki trenutno še vedno temelji na predelavi iglavcev. Večino listavcev (skoraj 60 %) pa se uporabi v energetske namene (WCM, 2020).

Od leta 2000, ko je bil vzpostavljen MGGE, pa vse do danes je sistem v glavnem služil pridobivanju podatkov za potrebe mednarodnega poročanja o stanju in razvoju slovenskih gozdov (FAO, 2020; Forest Europe, 2020; OECD, 2017) ter v omejenem obsegu tudi za nacionalno poročanje o trajnostnem razvoju slovenskih gozdov in uresničevanju ciljev Resolucije o Nacionalnem gozdnem programu (Kovač, 2014). Prednost vzpostavljenega sistema je mednarodno usklajena metodologija popisa kazalnikov na sistematični mreži ploskev prek celotne države. Podatki MGGE imajo tudi potencial za uporabo pri nacionalnem poročanju, ki ga vodi SURS. Trenutno so za ta poročila v rabi

večinoma podatki, zbrani za potrebe gozdnogospodarskega načrtovanja (Lešić, 2020), kar pa metodološko ni popolnoma korektno. Težava je predvsem v različni prostorski in časovni pokritosti mreže SVP med gozdnogospodarskimi območji in enotami (Hladnik in Kovač, 2015; Hladnik in Žižek Kulovec, 2014; Kovač, 2016; Skudnik in Hladnik, 2018). Ločiti je torej treba med sistemoma zbiranja podatkov za potrebe gozdnogospodarskega načrtovanja, katerega namen je optimizacija izkoriščanja gozdnih virov, in velikoprostorskim monitoringom, kot je MGGE, katerega namen je pridobiti objektivne podatke o gozdovih za potrebe gozdarske politike in spremljanja trajnostne rabe gozdnih virov (Kangas in sod., 2018).

Kljub upoštevanju teorije vzorčenja ima MGGE določene omejitve, ki se nanašajo predvsem na malo vzorčnih ploskev, in posledično večjo vzorčno napako pri izračunih nekaterih dendrometrijskih kazalnikov (Skudnik in Hladnik, 2018). Hkrati malo vzorčnih ploskev onemogoča stratificiranje podatkov, npr. po statističnih regijah, gozdnih tipih, lastništvu, gozdnogospodarskih območjih, ekoloških oziroma provinienčnih regijah itnd. Periodične meritve so tudi preveč redke, da bi omogočile zaznavanje spremembe v gozdovih v primeru večjih naravnih nesreč. Za odpravo omenjenih omejitev je bila predlagana zgostitev mreže ploskev iz 4 km x 4 km na 2 km x 2 km. To pomeni prehod iz obstoječih 760 na približno 3050 trajnih vzorčnih ploskev, ki bi enakomerno pokrivalo celotno državo (Skudnik in Hladnik, 2018).

Sistem MGGE smo v letu 2020 nadgradil v kontinuiran panelni inventurni sistem (Skudnik in Hladnik, 2018), katerega osnova bodo nove trajne vzorčne ploskve na neuravnani sistematični mreži (*unaligned systematic sampling*) (Cochran, 1977) gostote 2 km x 2 km, kar je dobro izhodišče za sistemsko vzpostavitev Nacionalne gozdne inventure (NGI) v Sloveniji. Vzpostavitev tovrstnega informacijskega sistema bo omogočala konsistentno spremljanje stanja in razvoja slovenskih gozdov na nacionalni in regionalni ravni. Pomembno je, da bo vzpostavljeni sistem v skladu z najnovejšimi spoznanji o nacionalnih gozdnih inventurah in da bo služil kot temelj vsemu nadaljnjemu delu na področju nacionalne inventarizacije gozdov in poročanju o njih.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

The article presents the results of the large-scale spatial inventory Forest Ecosystem Condition Survey (FECS) that took place on the systematic grid of permanent sampling plots (4 km x 4 km) across the entire Slovenia in the years 2000, 2007, 2012, and 2018. The basic indicators of the condition (growing stock and volume of the deadwood categories) and changes (increment, felling, and mortality) of the Slovenian forests.

The estimation of the average growing stock in Slovenian forests was increasing from 2000 to 2012, namely it amounted to 299 m³ ha⁻¹ (sampling error (E = 5 %) in 2000, 314 m³ ha⁻¹ (E = 4 %) in 2007, and 334 m³ ha⁻¹ (E = 4 %) in 2012. In the period 2012–2018 the growing stock estimation decreased to 330 m³ ha⁻¹ (E = 4 %), however, the differences between the years were not statistically significant (p = 0,682). The reason for somewhat lower growing stock estimation in 2018 is, above all, the increased felling and a large share of dead trees in the period 2012–2018, that were, in addition to the increased regular felling, affected by the large-scale spatial natural hazards, e.g. ice break (2014) and windstorm (2017) as well as bark beetle gradations (2014–2018) taking place on the broader area of Slovenia from 2014 on.

The quantity of small trees has been estimated since 2007 when the estimation amounted to 3.9 m³ ha⁻¹ (E = 16 %). The growing stock of small trees is only around one percent of the total growing stock of the measurement trees. However, this information is important also to understand the regeneration performance of individual tree species and thus their future abundance. Growing stock of small trees is greatly prevailed by broadleaves since their share is over 4/5 of the total growing stock of the small DBH trees. The estimated average growing stock of the small trees was the largest in 2012, namely 4.6 m³ ha⁻¹ (E = 12%), and decreased to 3.6 m³ ha⁻¹ (E = 13 %) in 2018.

The estimation of the deadwood biomass volume amounted to 24.2 m³ ha⁻¹ ± 10 % in 2018 which is 7.4 % of the growing stock. Thereby, Slovenia joins the ranks of the countries with a large share of the deadwood biomass in Europe.

The estimation of the total stock of the deadwood biomass has increased for $4.4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ since 2012, the stock of the deadwood biomass of conifers for $1.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ and broadleaves for $2.7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

The average annual gross increment including the ingrowth and ingrowth of the felled trees amounted to $8.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ($E = 4\%$) in the period 2007-2012, and it then decreased to $7.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ($E = 4\%$) in the period 2012-2018. Therefore, the change of the gross increment by the tree structure coincides with the change of the growing stock. The tree species contributing the largest volume of new wood are beech and spruce (together 61 % of the total volume increase in the period 2012-2018).

The estimated average annual felling increased from $4.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ($E = 20\%$) to $6.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ($E = 20\%$) during the analyzed periods 2007-2012 and 2012-2018. Interpreting the results of the felling, we have to point out the relatively high sampling error originating in the small number of plots on the $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$ grid. A 20 % sampling error would thus mean that the felling for the 2012-2018 period was in the confidence interval for the estimation of $6.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1} \pm 1,26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$.

The average perceived natural mortality in Slovenia amounted to $1.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ($E = 19\%$) in the period 2000-2007, it decreased to $1.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ($E = 27\%$) in the period 2007-2012 and increased to in $2.2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ ($E = 20\%$) in the last period 2012-2018, which is 0.7 % of the total growing stock.

Since 2000 when the FECS was established and until today the system has served primarily for acquiring data for the needs of international reporting on the condition and development of the Slovenian forests (FAO, Forest Europe, OECD) and, on a limited scale, also for national reporting on the sustainable development of the Slovenian forests and realizing the goals of the Resolution on the National Forest Program. The advantage of the established system is an internationally harmonized inventory methodology on the systematic grid of plots across the whole country. The FECS data also have the potential for the use in the national reporting lead by Statistical Office of the Republic of Slovenia. Currently, the data acquired for the

needs of forest management planning are used for these reports, which is methodologically not optimal. The problem is the different spatial and temporal coverage of the sampling plots between the forest management units and regions.

Despite taking into account the sampling theory, FECS has certain limitations mostly referring to the small number of the sampling plots and, consequently, a larger sampling error in the calculation of dendrometrical indexes. At the same time, a small number of sampling plots prevents data stratification e.g. by statistical regions, forest types, ownership, forest management regions, ecological or, provenience regions, etc. Thus, in the year 2020, we upgraded the FECS system into the continuous panel inventory system which is based on the new permanent sampling plots on the unaligned systematic sampling grid of $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ density representing a good starting point for the introduction of the National Forest Inventory (NFI) in Slovenia.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENTS

Hvala Andreju Grah (Gozdarski inštitut Slovenije) za pripravo vseh podatkov in za vse delo na podatkovni bazi MGGE ter za razvoj tabličnih aplikacij za terenski zajem podatkov. Zahvala velja tudi vsem sodelavcem z Gozdarskega inštituta Slovenije (dr. Andreja Ferreira, prof. dr. Milan Hočevar, dr. Marko Kovač, doc. dr. Primož Simončič) in Biotehniške fakultete, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire (prof. dr. David Hladnik), za njihov prispevek k vzpostavitvi sistema MGGE ter vsem članom terenskih ekip na Gozdarskem inštitutu Slovenije in Zavodom za gozdove Slovenije.

Prispevek je nastal kot del poročila o Stanju in spremembah slovenskih gozdov med letoma 2000 in 2018 – rezultati velikoprostorskega monitoringa gozdov in gozdnih ekosistemov (Skudnik in Kušar, 2021, v pripravi), ki ga na GIS-u financira MKGP v okviru naloge Javna gozdarska služba Naloga 4 – Razvijanje in strokovno usmerjanje informacijskega sistema za gozdove (ISG).

7 VIRI

7 REFERENCES

- Alberdi I., Michalak R., Fischer C., Gasparini P., Brändli U.-B. in sod. 2016. Towards harmonized assessment of European forest availability for wood supply in Europe. *Forest Policy and Economics*, 70, 20-29
- Bartolucci F., Montanari G. E. 2006. A new class of unbiased estimators of the variance of the systematic sample mean. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 136, 4: 1512-1525
- Bončina A. 2009. Urejanje gozdov: upravljanje gozdnih ekosistemov: učbenik za študente univerzitetnega študija gozdarstva. (ur.) Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 359 str.
- Breznikar A. 2018. Ukrepi po vetrolomu v slovenskih gozdovih med 11. in 13. Decembrom 2017. *UJMA*, 32, 86-93
- Cochran W. G. 1977. *Sampling Techniques* 3th edition. (ur.) John Wiley & Sons: 428 str.
- Čokl M. 1957. Prirejene Alganove in Schafferjeve tarife ter njihova raba pri inventurizaciji sestojev = Adjusted Algan and Schaffer tariffs and their use in the inventory of forest stands. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 2, 165-195
- Diaci J. 2006. Close-to-Nature Forest Management in Europe: Does It Support Complexity and Adaptability of Forest Ecosystems. V: *Nature-based Forestry in Central Europe: Alternatives to Industrial Forestry and Strict Preservation*. Diaci J. (ur.) (Nature-based Forestry in Central Europe: Alternatives to Industrial Forestry and Strict Preservation, Ljubljana, Studia Forestalia Slovenica: 119-133
- FAO. 2020. *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. Rome, 184 str.
- Forest Europe. 2020. *State of Europe's Forest*. 392 str.
- Gschwantner T., Alberdi I., Balázs A., Bauwens S., Bender S. in sod. 2019. Harmonisation of stem volume estimates in European National Forest Inventories. *Annals of Forest Science*, 76, 1: 24
- Gschwantner T., Lanz A., Vidal C., Bosela M., Di Cosmo L. in sod. 2016. Comparison of methods used in European National Forest Inventories for the estimation of volume increment: towards harmonisation. *Annals of Forest Science*, 73, 4: 807-821
- Hladnik D., Kovač M. 2015. Premislek o optimalnih ciljnih gospodarjenja z gozdovi. V: *Conference theme*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
- Hladnik D., Žižek Kulovec L. 2014. Consistency of stand density estimates and their variability in forest inventories in Slovenia. *Acta Silvae et Ligni*, 104, 1-14
- Iachan R. 1982. Systematic Sampling: A Critical Review. *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique*, 50, 3: 293-303
- Jevšenak J., Skudnik M. 2021. A random forest model for basal area increment predictions from national forest inventory data. *Forest Ecology and Management*, 479, 118601
- Kangas A., Astrup R., Breidenbach J., Fridman J., Gobakken T. in sod. 2018. Remote sensing and forest inventories in Nordic countries – roadmap for the future. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33, 4: 397-412
- Klopčič M., Poljanec A., Gartner A., Bončina A. 2009. Factors related to natural disturbances in mountain Norway spruce (*Picea abies*) forests in the Julian Alps. *Écoscience*, 16, 1: 48-57
- Kotar M. 2003. *Gozdarski priročnik*. (ur.) Ljubljana, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 414 str.
- Kovač M. 2014. Stanje gozdov in gozdarstva v luči Resolucije nacionalnega gozdnega programa. *Gozdarski vestnik*, 72, 2: 59-75
- Kovač M. 2016. Nacionalna poročanja o gozdovih v izbranih Evropskih državah in Sloveniji / National forest reporting in selected European countries, including Slovenia. *Geodetski vestnik*, 60, 377-391
- Kovač M., Hočevar M. 2010. Kratek opis razvoja gozdnih inventur in kontrolne vzorčne metode po Svetu in v Sloveniji = Shoert description of forest inventories and control sampling method around the World and in Slovenia. V: *Kontrolna vzorčna metoda v Sloveniji - zgodovina, značilnosti in uporaba = Control sampling method in Slovenia - history, characteristics and use*. Planinšek Š. in sod. (ur.). (Kontrolna vzorčna metoda v Sloveniji - zgodovina, značilnosti in uporaba = Control sampling method in Slovenia - history, characteristics and use, Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 9-12
- Kovač M., Skudnik M., Japelj A., Planinšek Š., Vochl S. 2014. I. Gozdna inventura. V: *Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov - priročnik za terensko snemanje*. Kovač M. (ur.). (Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov - priročnik za terensko snemanje, Ljubljana, Založba Silva Slovenica: 7-113
- Lanz A., Fischer C., Abegg M. 2019. *Sampling Design and Estimation Procedures*. V: *Swiss National Forest Inventory - Methods and Models of the Fourth Assessment*. Fischer C. in sod. (ur.). (Swiss National Forest Inventory - Methods and Models of the Fourth Assessment, Birmensdorf, Springer: 39-92
- Lešič M. 2020. *Metodološko pojasnilo: gozdarstvo in lov - splošno*. Ljubljana

- Luo Y., Chen H. Y. H. 2013. Observations from old forests underestimate climate change effects on tree mortality. *Nature Communications*, 4, 1: 1655
- Mandallaz D. 2008. Sampling techniques for forest inventories. (applied environmental statistics, Smith R. (ur.) Boca Raton, Taylor & Francis Group: 256 str.
- McDowell N. G., Allen C. D., Anderson-Teixeira K., Aukema B. H., Bond-Lamberty B. in sod. 2020. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science*, 368, 6494
- Neumann M., Mues V., Moreno A., Hasenauer H., Seidl R. 2017. Climate variability drives recent tree mortality in Europe. *Global Change Biology*, 23, 11: 4788-4797
- OECD. 2017. Forest resources (indicator).
- Poljanec A., Bončina A. 2020. Structure and composition of forest stands at regional and national levels in the last five decades. V: *Forests and forestry in Slovenia*. Čater M. in sod. (ur.). (Forests and forestry in Slovenia, Ljubljana, Slovenian Forestry Institute, The Silva Slovenica Publishing Centre: 24-35
- Poljanec A., Guček M., Bončina A. 2019. Gozdnogospodarsko načrtovanje v Sloveniji. V: *Gozd in les kot priložnost za regionalni razvoj*. Bončina A. in sod. (ur.). (Gozd in les kot priložnost za regionalni razvoj, Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 37-41
- Sandström J., Bernes C., Junninen K., Löhmus A., Macdonald E. in sod. 2019. Impacts of dead wood manipulation on the biodiversity of temperate and boreal forests. A systematic review. *Journal of Applied Ecology*, 56, 7: 1770-1781
- Schelhaas M.-J., Fridman J., Hengeveld G. M., Henttonen H. M., Lehtonen A. in sod. 2018. Actual European forest management by region, tree species and owner based on 714,000 re-measured trees in national forest inventories. *PLOS ONE*, 13, 11
- Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M. in sod. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7, 395
- Seidling W., Travaglini D., Meyer P., Waldner P., Fischer R. in sod. 2014. Dead wood and stand structure - relationships for forest plots across Europe. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 7, 5: 269-281
- Skudnik M., Hladnik D. 2018. Predlog o organiziranju nacionalne gozdne inventure za mednarodno in domače poročanje o trajnostnem gospodarjenju z gozdovi = Suggestion for Organizing National Forest Inventory for International and National reports on Sustainable Forest Management. *Gozdarski vestnik*, 76, 7-8: 319-331
- Tomter S. M., Kuliešis A., Gschwantner T. 2016. Annual volume increment of the European forests—description and evaluation of the national methods used. *Annals of Forest Science*, 73, 4: 849-856
- Veselič Ž., Grecc Z., Kolšek M., Oražem D., Matijašič D. in sod. 2015. Žled v Slovenskih gozdovih in njihova sanacija. *UJMA*, 29, 188-194
- Vidal C., Alberdi I., Redmond J., Vestman M., Lanz A. in sod. 2016. The role of European National Forest Inventories for international forestry reporting. *Annals of Forest Science*, 73, 4: 793-806
- Waring R. H. 1986. Characteristics of Trees Predisposed to Die. V: *Studies in Environmental Science*. Schneider T. (ur.). (Studies in Environmental Science, Elsevier: 117-123
- WCM. 2020. Proizvodnja okroglega lesa za obdobje 1995-2019. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije <http://wcm.gozdis.si/cene-in-tokovi-lesa> (19.5.2021)
- Williams R. M. 1956. The Variance of the Mean of Systematic Samples. *Biometrika*, 43, 1/2: 137-148