

V Sloveniji se povečuje osutost bukove krošnje

Beech Defoliation in Slovenia is Increasing

Nikica OGRIS¹, Mitja SKUDNIK^{2,3}

Izvleček:

V zadnjem času po vsej Sloveniji opažamo hiranje navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.). Cilj prispevka je predstaviti dolgoročen trend osutosti krošnje navadne bukve v Sloveniji in pojasniti delež osutosti bukove krošnje s pomočjo podatkov iz popisa povzročiteljev poškodb v okviru vsakoletnega popisa razvrednotenja in poškodovanosti gozdov. Pri tem smo uporabili podatkovno zbirko o spremljanju osutosti in poškodovanosti dreves na M6 stalnih vzorčnih ploskvah (Nivo I) na sistematični mreži 16 × 16 km v obdobju 1993–2020. Rezultati kažejo, da se je povprečna osutost bukove krošnje od leta 1993 do 2020 povečala iz 13,9 % na 32,2 %. Dolgoročen linearen trend je pokazal, da se je povprečna osutost bukove krošnje povečala za 0,63 % na leto. Za trend povprečne osutosti bukve je bilo prelomno izjemno sušno leto 2003, ko se je trend osutosti povečal iz 0,61 % na 0,94 % na leto. Trend večanja osutosti bukve smo zaznali na vseh obravnavanih lokacijah. Ugotovili smo, da se povprečna osutost bukve hitreje veča na jugu in zahodu države. Katastrofalen žledolom leta 2014 je povzročil drastično spremembo povzročiteljev osutosti bukve. V obdobju pred žledolomom leta 2014 so osutost bukove krošnje najboljše pojasnjevale poškodbe zaradi žuželk. Po žledolomu leta 2014 so se povečale poškodbe bukve zaradi žleda, gliv, neposrednih človekovih vplivov (obsežne sanacije žledoloma) in drugih dejavnikov. Žledolom je na bukovih gozdovih pustil trajne posledice, saj so poškodbe zaradi žleda in posledično sanacije vidne še dandanes, kar je razvidno tudi iz popisa povzročiteljev poškodb bukve. V zadnjih dveh letih, 2019–2020, so glive najpomembnejše povzročiteljice poškodb bukve. Po letu 2014 pa se je zmanjšala poškodovanost bukve zaradi žuželk. Natančnih vzrokov za splošno slabšanje zdravstvenega stanja bukve po vsej Sloveniji še ne poznamo.

Ključne besede: *Fagus sylvatica*, poškodovanost, krošnja, zdravje, hiranje, kompleksna bolezen, bukov gozd, vitalnost, podnebne spremembe, žledolom, suša

Abstract:

Recently, we noticed decline of the common beech (*Fagus sylvatica* L.). The aim of this article is to present the long-term trend of the common beech defoliation in Slovenia and to explain the defoliation share using the data from the inventory of damage agents in the framework of the annual inventory of the forest devaluation and damage. Thereby we applied the database on the monitoring of the tree defoliation and damage on the M6 permanent sampling plots (Level I) on the systematical 16 × 16 km grid in the period 1993–2020. The results show the average defoliation of the beech increased from 13.9 % to 32.2 % from 1993 to 2020. The long-term linear trend has shown that the average beech defoliation increased for 0.63 % yearly. The extremely dry year 2003, when the defoliation trend increased from 0.61 % to 0.94 % yearly, represented the milestone for the average beech defoliation trend. The trend of beech defoliation increase was detected in all studied locations. We found that the average beech defoliation is increasing more rapidly in the south and west of the country. The disastrous ice storm in 2014 caused a drastic change in the beech defoliation causes. In the period before the ice storm in 2014, the defoliation of the beech was best explained by the damage due to the insects. After the 2014 ice storm, increased the damages of the beech due to sleet, fungi, direct manmade impacts (ample ice storm sanitations) and other factors. The ice storm caused permanent consequences on the beech forests and the damage due to the ice storm and consequent sanitation are still visible today, which is also visible from the inventory of the beech damage agents. In the last two years, 2019–2020, fungi are the most important cause of beech damage. After 2014, the beech damage due to the insects decreased. The exact causes for the general decrease of beech health throughout Slovenia are not known yet.

Key words: *Fagus sylvatica*, damage, tree crown, health, decline, complex disease, beech forest, vitality, climatic change, ice storm, drought

¹ Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za varstvo gozdov, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija,

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

³ UL, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, Slovenija

* dopisni avtor: nikica.ogris@gozdis.si

1 UVOD

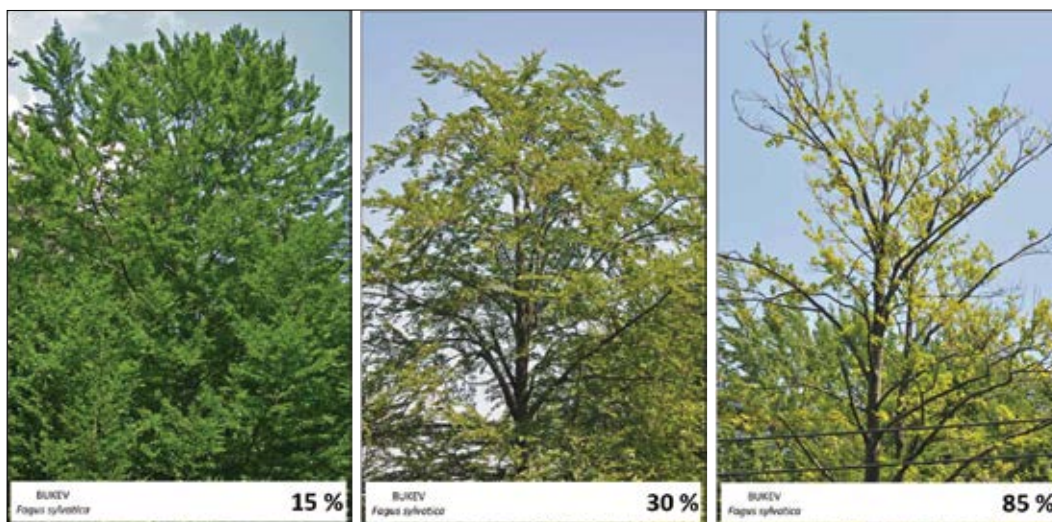
1 INTRODUCTION

Eden izmed ključnih mednarodno uveljavljenih kazalnikov za ocenjevanje življenjske moči dreves oz. njihove vitalnosti je osutost drevesnih krošenj. Kazalnik so razvili znotraj delovne skupine International Cooperative Programme of Forests (ICP Forest) in je mednarodno primerljiv ter ga kot pokazatelja za ohranjanje zdravja in vitalnosti gozdnih ekosistemov navajajo številna mednarodna (Europe, 2020; OECD, 2021) in tudi domača poročila (MKGP, 2016; Skudnik in Planinšek, 2020). V Sloveniji spremljamo vitalnost gozdnih ekosistemov od leta 1986 in leta 2000 je bilo spremljanje sistemsko urejeno s Pravilnikom o varstvu gozdov (RS, 2009).

Navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.) je najpogostejša drevesna vrsta v Sloveniji, saj predstavlja kar 33,4 % celotne lesne zaloge in glede na trenutne razmere se bo njen delež v prihodnje še povečeval (Skudnik in sod., 2019). V zadnjih desetih letih se povprečna osutost bukove krošnje vztrajno povečuje (Ogris, 2020; Ogris in Skudnik, 2020). V zadnjih letih je povprečna osutost bukve presegla 30 %, kar je znak za alarm, saj je tolikšna poškodovanost navadno nepovrnljiva in dolgoročno usodna za drevo (Slika 1).

Natančnih vzrokov za splošno slabšanje osutosti bukve po vsej Sloveniji ne poznamo. Domnevno je hiranje bukve posledica množice škodljivih organizmov in škodljivih abiotičnih dejavnikov ter njihovih medsebojnih vplivov, ki povzročajo t.i. kompleksno bolezen navadne bukve, ki se kaže kot dolgoročno hiranje ali počasno propadanje tako posameznih dreves kot celotnih bukovih sestojev (Ogris, 2020).

Hiranje bukve so zabeležili tudi drugod v Evropi (Brück-Dyckhoff in sod., 2019; Rohner in sod., 2021). Na Bavarskem v Nemčiji so ugotovili, da so v proces hiranja bukve vpletene fitoftore (*Phytophthora* spp.), daljša obdobja z obilnim deževjem in suše (Jung, 2009). Podobno ugotavljajo tudi v Italiji (Vettraino in sod., 2008). K hiranju bukve prispevajo tudi drugi škodljivi dejavniki, npr. pooglenitev bukve, ki jo povzroča sicer endofitna gliva *Biscogniauxia nummularia* (Bull.) Kuntze ob sušnem stresu (Granata in Sidoti, 2004). Tudi na Madžarskem so zabeležili hiranje bukve zaradi sušnega stresa, pojava pooglenitve bukve in še nekaterih drugih škodljivcev (Lakatos in Molnár, 2009). Vse kaže, da bukev postaja ranljivejša zaradi suše in toplejšega podnebja (Chakraborty in sod., 2021).



Slika 1: Primeri treh stopenj osutosti krošnje navadne bukve (povzeto po: Kovač, 2014)

Figure 1: Examples of three defoliation levels of the common beech (adapted after: Kovač, 2014)

Povečevanje stopnje osutosti krošnje ne velja samo za bukev, ampak tudi številne druge drevne vrste. Z obširno raziskavo poškodovanosti krošnje gozdov v Evropi, ki se raztezajo na več kot 30 milijonov hektarov, so ugotovili, da se je poškodovanost krošenj v obdobju 32 let, od leta 1984 do 2016, povečala za dvakrat, povprečno za 2,4 na leto (Senf in sod., 2018).

Trend večanja osutosti bukve v Sloveniji je bil ugotovljen že za obdobje od 2009 do 2019 (Ogris, 2020; Ogris in Skudnik, 2020). V tem obdobju se je povprečna osutost bukve povečala za skoraj 10 %, t.j. iz 24,4 % na 34,2 %. Manjka pa podobna analiza trenda osutosti bukve za daljše obdobje, s katero bi pojasnili morebitno variabilnost osutosti bukve. Zato smo si za cilja raziskave postavili: (1) ugotoviti, kakšen je bil dolgoročen trend osutosti krošnje navadne bukve v Sloveniji v obdobju od 1993 do 2020 in (2) pojasniti osutost krošnje bukve s pomočjo podatkov iz popisa razvrednotenja in poškodovanosti gozdov (RS, 2009).

2 METODE

2 METHODS

Uporabili smo podatkovno zbirko Popisa razvrednotenja in poškodovanosti gozdov v Sloveniji, ki jo vzdržuje Gozdarski inštitut Slovenije. Podatke o osutosti zbiramo letno na sistematični vzorčni mreži traktov (16×16 km; Nivo I ploskve), ki so sestavljeni iz štirih ploskev M6 (metoda šestih najbližjih dreves), kjer vsakemu drevesu na podlagi kazalnika osutosti in popisa poškodb ocenimo vitalnost (Kovač in sod., 2014). Na sistematičen in primerljiv način podatke zbiramo od leta 1991. Podatki, uporabljeni v analizi, se nanašajo na obdobje 1993–2020 (GIS, 2021). Statistični koncept popisa temelji na naključnem sistematičnem vzorčenju v grozdih (angl. cluster sampling), kjer je vsak grozd sestavljen iz štirih ploskev po šest dreves. Drevesa ostajajo v vzorcu, dokler ne odmrejo ali pa jih posekamo. V takem primeru jih nadomestimo z novimi. Postopek ocenjevanja osutosti tako poteka v dveh delovnih fazah. V prvi v skladu s protokolom statističnega izbora določimo vzorčna drevesa, v drugi pa se vsakemu izbranemu drevesu ocenimo osutost vsako leto od junija do avgusta. Da je kazalnik osutosti mednarodno primerljiv, vsako drugo leto

poteka vseevropsko umerjanje terenskih popisovalcev na primeru okoli 200 fotografij dreves. Pri vseh sodelujočih državah je metodologija enotna in tako med seboj primerljiva.

Trend poškodovanosti navadne bukve smo ocenjevali na podlagi povprečne osutosti krošnje na vseh ploskvah, kjer se pojavlja bukev in kjer je bila osutost ocenjena. Upoštevali smo samo drevesa, ki so bila nadvladujoča, vladujoča in sovladujoča, tj. drevesa, ki tvorijo streho gozdnega sestoja in zato tekmovanje ali zasenčenost bistveno ne vplivata na osutost.

V obdobju 1993–2020 se je bukev pojavljala na 25 do 34 traktih od skupaj 44-ih, povprečno na 31-ih. Med leti se je število dreves v vzorcu spreminjalo, in sicer se je gibalo od 271 do 394, povprečno 338 na leto. Skupno število dreves, ki jim vsako leto ocenimo osutost, je 1056. Zaradi prej navedenega pogoja o socialnem položaju dreves je bilo v končno analizo vključenih manj dreves bukve, in sicer od 195 do 357, povprečno 280 dreves bukve na leto.

Čeprav popis razvrednotenja in poškodovanosti gozdov poteka na sistematičen in primerljiv način že od leta 1991, smo v analizo vključili samo podatke od leta 1993 naprej, ker je bila v letu 1991 osutost bukve popisana na značilno manjšem vzorcu (133), leta 1992 pa je potekala nacionalna inventura na sistematični mreži 4×4 km.

Od leta 2009 vsem drevesom, ki jim ocenimo osutost, popišemo tudi povzročitelje poškodb drevja, in sicer po navodilih popisa povzročiteljev poškodb drevja (Jurc in Jurc, 2014). Navodila so povzeta in za slovenske razmere prirejena po uradni metodologiji ICP Forests (Eichhorn in sod., 2020). Zabeležimo najmanj glavno kategorijo povzročitelja poškodb, kot so: divjad in objedanje, žuželke, glive, abiotski dejavniki, neposredni človekovi vplivi, ogenj, onesnažen zrak, drugi dejavniki in raziskovano, vendar nedoločeno. V kategoriji neposredni človekov vpliv so vključene predvsem poškodbe zaradi gojitvenih ukrepov in gospodarjenja z gozdovi. V kategorijo drugi dejavniki pa so vključene poškodbe zaradi zaje-davskih rastlin, bakterij, nematod, konkurence, zasenčenosti idr. Poleg povzročitelja beležimo še veliko drugih spremenljivk, med katerimi smo za analizo uporabili samo osutost krošnje in obseg

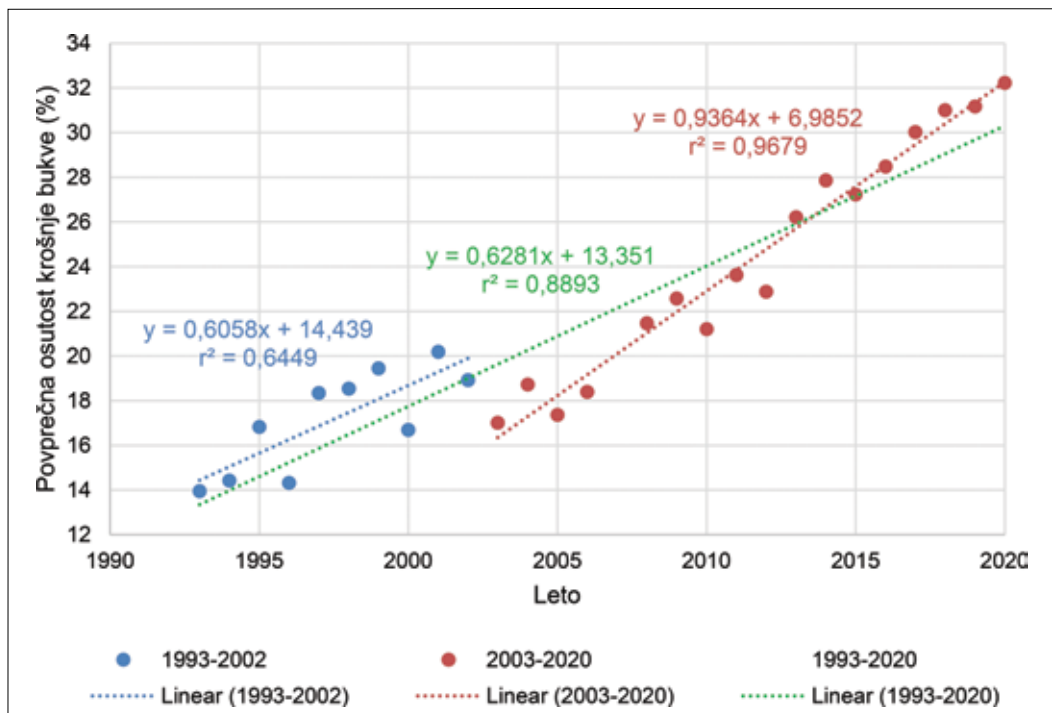
poškodbe. Osutost je definirana kot (Kovač in sod., 2014): »Osutost je okularno ocenjen delež (%) manjkajočih asimilacijskih organov (listov, iglic) v primerjavi z namišljenim normalnim drevesom istega socialnega položaja, iste drevesne vrste in z enakega rastišča. Ocenjuje se na 5 % natančno.« Obseg poškodbe je definiran kot (Jurc in Jurc, 2014): »Obseg poškodb prikazuje velikost – obseg, količino (v %) prizadetega dela drevesa, ki ga je prizadel škodljiv dejavnik. Skupni obseg krošnje izražamo z deležem (%) površine listnega aparata krošnje in je tisti del skupne osutosti, ki jo je mogoče nedvoumno pripisati znanim povzročiteljem. Poškodbe vej so izražene kot % vseh vej, poškodbe debla so izražene kot % obsega debla.« Obseg poškodbe prav tako ocenjujemo na 5 % natančno. Popis povzročiteljev poškodb drevja na ploskvah M6 se je začel leta 2009 in od takrat poteka vsako leto. Zato je analiza povzročiteljev poškodovanosti bukve omejena na obdobje 2009–2020.

Trende smo ugotavljali s pomočjo enostavne linearne regresije v statističnem programu R (R Core Team, 2021). Grafikone smo izrisali v programu Microsoft Excel 16.0, karto pa smo izrisali v programu Esri ArcMap 10.6.1.

3 REZULTATI

3 RESULTS

Od leta 1993 do 2020 se je povprečna osutost bukove krošnje povečala iz 13,9 % na 32,2 % (Slika 2). Dolgoročen linearen trend je pokazal, da se je povprečna osutost bukove krošnje povečala za 0,63 % na leto, pri čemer je delež pojasnjene variance znašal 88,9 % in korelacija je bila statistično značilna ($p < 0,001$). Leta 2003 se je povprečna osutost bukve značilno zmanjšala glede na povprečno osutost bukove krošnje v obdobju 1993–2002 ($t = 6,079$; $df = 16$; $p < 0,001$). Zato smo izračunali še linearen trend do leta 2003 in po letu 2003. Linearen trend do leta 2003 je bil



Slika 2: Povprečna osutost bukove krošnje od leta 1993 do 2020 in linearni trend za tri različna obdobja: modra (1993–2002), rdeča (2003–2020), zelena (1993–2020)

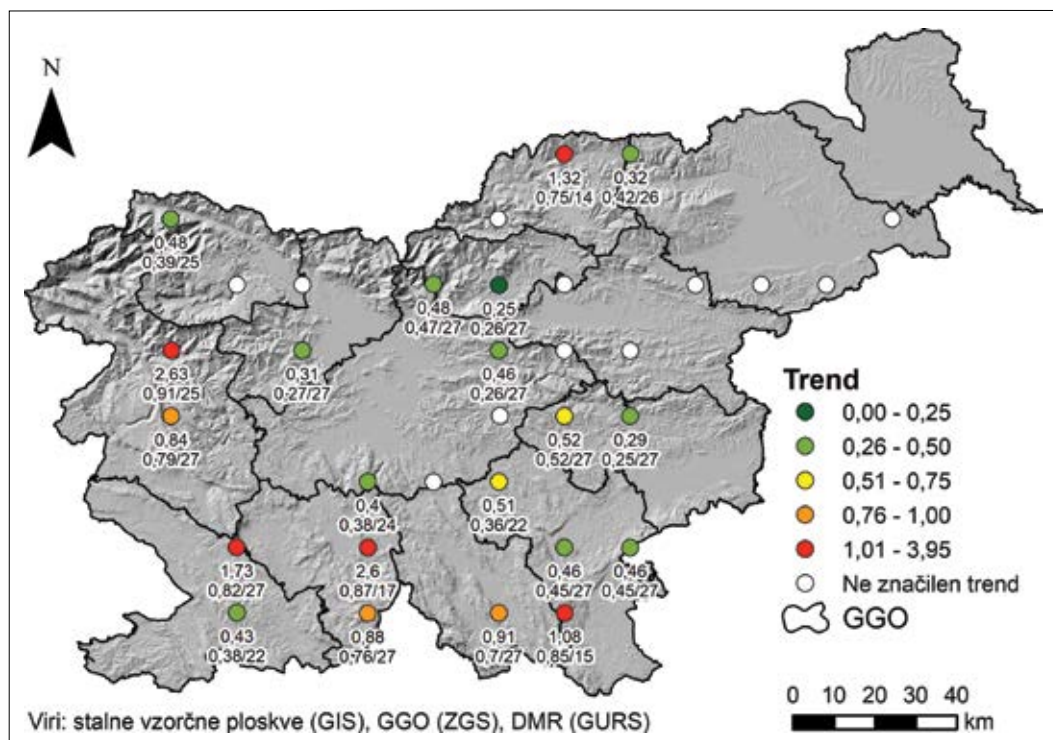
Figure 2: Average beech defoliation from 1993 to 2020 and linear trend for three different periods: blue (1993–2002), red (2003–2020), green (1993–2020)

podoben kot za celotno obravnavano obdobje, t.j. regresijski koeficient je znašal 0,61 ($p = 0,005$). Regresijski koeficient za obdobje 2003–2020 je bil višji, t.j. 0,94, in pojasnjen delež variance je bil zelo visok (96,8 %; $p < 0,001$). Izračunali smo tudi linearen trend po letu 2014, ko je bil katastrofalen žledolom, in ugotovili, da je regresijski koeficient podoben (0,97; $r^2 = 95,6$ %; $p < 0,001$) kot za obdobje po letu 2003.

Preverili smo linearni trend povprečne osutosti krošnje po posameznih traktih (Slika 3). Korelacija je bila statistično značilna na 21 traktih pri stopnji zaupanja 1 %. Na vseh teh traktih je bilo zaznati pozitivno korelacijo povprečne osutosti bukove krošnje, kjer je regresijski koeficient znašal 0,24–2,63. Ugotovili smo, da se povprečna osutost bukve hitreje veča na jugu in zahodu države, kjer

je regresijski koeficient znašal 0,84–2,63 in z visokim koeficientom determinacije ($r^2 = 0,79–0,91$). V osrednjem delu države je bila stopnja večanja povprečne osutosti bukve zmerna na večini traktov, tj. povprečno 0,29–0,52 % na leto. Prav tako je bila stopnja večanja povprečne osutosti bukve zmerna tudi na severu države, tj. regresijski koeficient je znašal 0,25–0,48, vendar z izjemo na vzorčni ploskvi v gozdnogospodarskem območju Slovenj Gradec, kjer je regresijski koeficient znašal 1,32.

Od leta 2009 do 2013 se povprečna poškodovanost krošnje bukve zaradi različnih kategorij povzročiteljev poškodb ni bistveno spreminjala (Slika 4). V tem obdobju so največjo poškodovanost krošnje povzročali drugi dejavniki (povprečno 9,0 %), na drugem mestu so bile žuželke (povprečno 7,7 %), takoj za njimi glive (povprečno



Slika 3: Linearen trend osutosti bukve na ploskvah M6 na sistematični mreži 16 × 16 km v obdobju 1993–2020. Legenda: prva številka pod točko prikazuje regresijski koeficient (sprememba osutosti bukve na leto), prva številka v drugi vrstici pod točko prikazuje koeficient determinacije (r^2), druga številka v drugi vrstici za znakom „/“ prikazuje velikost vzorca za izračun trenda (št. let).

Figure 3: The linear trend of the beech defoliation on the M6 plots on 16 × 16 km systematic grid in the period 1993–2020. Legend: the first number under the item shows the regression coefficient (beech defoliation change per year), the first number in the second row under the item shows the determination coefficient (r^2), the second number in the second row behind the “/” sign shows the sample size for the trend calculation (number of years).

7,3 %), na četrtem mestu so bili škodljivi abiotiski dejavniki (povprečno 5,5 %), neposredni človekovi vplivi na poškodovanost krošnje pa so bili zanemarljivi (povprečno 0,8 %).

V obdobju 2009–2013 so osutost bukove krošnje najbolje pojasnjevale poškodbe zaradi žuželk (povprečno 28,6 %), predvsem minerji listov, potem drugi dejavniki (povprečno 26,1 %), glive so bile na tretjem mestu (povprečno 21,0 %), škodljivi abiotiski dejavnik so pojasnili povprečno 16,7 % osutosti krošnje, neposredni človekovi vplivi pa samo 0,8 % (Slika 5).

Leta 2014 je bil katastrofalni žledolom (Veselič in sod., 2015), kar se je odrazilo tudi pri popisu povzročiteljev poškodb na ploskvah M6. V letu 2014 se je povprečna poškodovanost bukove krošnje zaradi škodljivih abiotiskih dejavnikov povečala iz 7,3 % na 21,1 % (Slika 4). V letu 2015 se je povprečna poškodovanost bukove krošnje zaradi škodljivih abiotiskih dejavnikov še nekoliko povečala, v naslednjih letih pa se je začela zmanjševati. V letu 2020 se je poškodovanost krošnje zaradi škodljivih dejavnikov ponovno malenkostno povečala, domnevno zaradi vetrolovov, ki so nastali v zadnjih nekaj letih (Breznikar, 2018). Škodljivi abiotiski dejavniki so v letih 2014 in 2015 najbolje pojasnjevali povprečno osutost bukve, tj. kar 51,1 % (Slika 5). V naslednjih letih se je pojasnjevalna moč škodljivih abiotiskih dejavnikov začela počasi zmanjševati in leta je 2020 znašala 41,5 %.

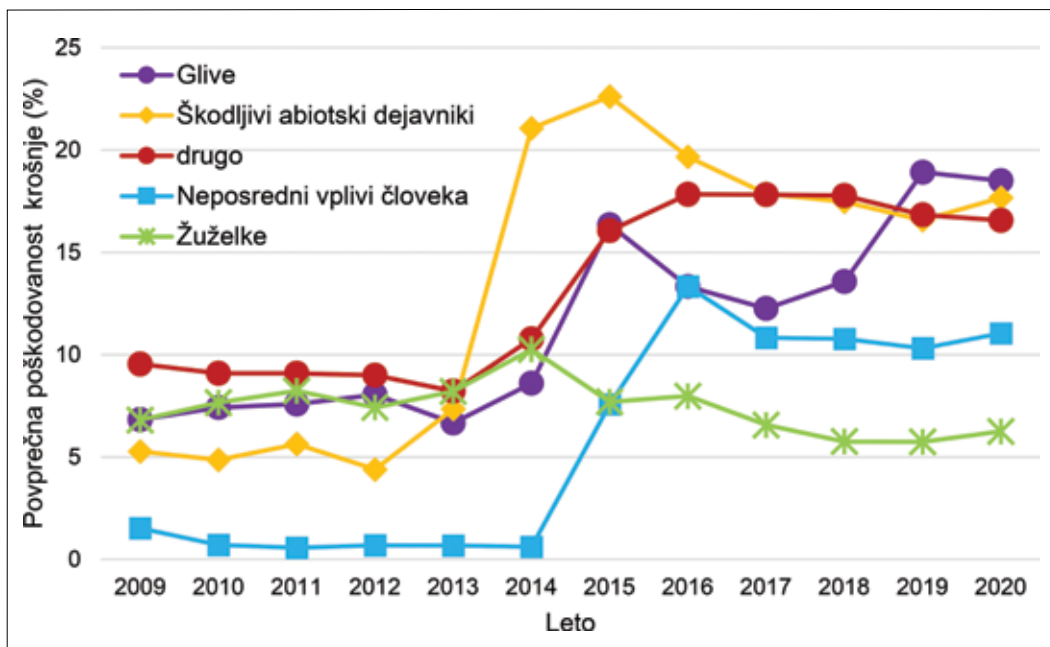
Po žledolomu leta 2014 so se začele povečevati poškodbe krošnje bukve zaradi kategorije drugih škodljivih dejavnikov. Poškodbe zaradi drugih škodljivih dejavnikov so dosegle višek v obdobju od 2016 do 2018, ko so znašale povprečno 17,8 %, potem pa so se počasi začele zmanjševati (Slika 4). Po letu 2015 so drugi škodljivi dejavniki najboljše pojasnjevali osutost krošnje, tj. povprečno 48,6–54,8 % (Slika 5).

Glive, ki povzročajo bolezni gozdnega drevja, so postale eno leto po žledolomu 2014 drugi najpomembnejši škodljiv dejavnik bukve, takoj za škodljivimi abiotiskimi dejavniki, in so povzročile povprečno 16,3 % poškodovanost krošnje (Slika 4). V naslednji dveh letih, 2016 in 2017, smo zabeležili nekoliko manjšo poškodovanost bukve

zaradi gliv, ki pa se je zatem ponovno povečala in v zadnjih dveh letih, 2019 in 2020, so glive najpomembnejši povzročitelj poškodb bukve. V zadnjih dveh letih, 2019 in 2020, glive dobro pojasnjujejo osutost krošnje bukve, saj so pojasnile kar 43,9 % osutosti bukve (Slika 5).

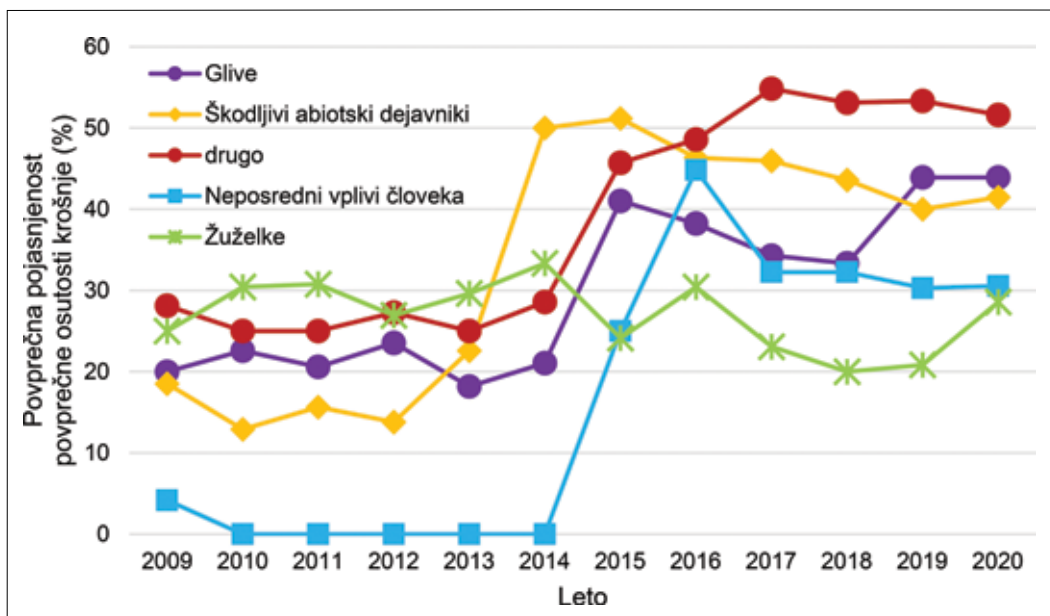
Žledolom leta 2014 je povzročil tudi drastično povečanje poškodb bukve zaradi neposrednih človekovih poškodb, saj se je sečnja bistveno povečala in kot posledica je bilo poškodovanih več dreves zaradi sečno-spravičnih dejavnosti. Leta 2014 je bila povprečna poškodovanost krošnje bukve zaradi neposrednih človekovih poškodb zgolj 0,6 %, leta 2016 pa je dosegla svoj maksimum v obravnavanem obdobju, tj. 13,3 % (Slika 4). V naslednjih letih, 2017–2020, so se neposredne poškodbe zaradi človeka malenkostno zmanjšale, vendar so ostale na značilno višji ravni kot pred žledolomom leta 2014 (povprečno 10,7 %). Neposredni človekovi škodljivi vplivi so po žledolomu v letih 2015 in 2016 dobro pojasnjevali povprečno osutost krošnje bukve (Slika 5). V naslednjih letih, 2017–2020, se je pojasnjevalna moč te skupine škodljivih dejavnikov zmanjšala; osutost krošnje bukve so boljše pojasnili škodljivi abiotiski dejavniki, glive in drugi škodljivi dejavniki.

V obdobju 2009–2014 so žuželke kazale rahel trend povečanja poškodb bukove krošnje (od 6,8 % na 10,3 %). Po letu 2014 se je poškodovanost bukve zaradi žuželk začela zmanjševati in leta 2019 je povprečna poškodovanost krošnje zaradi žuželk znašala 5,7 %. V letu 2020 smo zaznali ponovno rahlo povečanje na 6,3 % (Slika 4). V obdobju 2016–2020 so žuželke povzročile najmanjšo povprečno poškodovanost krošnje bukve izmed vseh kategorij škodljivih dejavnikov. V tem obdobju, 2016–2020, so tudi najslabše pojasnjevale povprečno osutost krošnje bukve (Slika 5). V obdobju pred žledolomom 2014 so žuželke v posameznih letih najboljše pojasnjevale povprečno osutost bukove krošnje, tj. v letih 2010, 2011 in 2013.



Slika 4: Povprečna poškodovanost bukove krošnje zaradi različnih kategorij škodljivih dejavnikov na ploskvah M6 v obdobju 2009–2020

Figure 4: Average damage of the beech crown due to the different harmful agent categories on the M6 plots in the 2009–2020 period



Slika 5: Povprečna pojasnjenost povprečne osutosti bukove krošnje zaradi različnih skupin škodljivih dejavnikov na ploskvah M6 v obdobju 2009–2020

Figure 5: Average explanation of the average beech defoliation due to the different harmful agent groups on the M6 plots in the 2009–2020 period

4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Z raziskavo smo potrdili pozitiven dolgoročen trend povečevanja osutosti bukove krošnje v obdobju 1993–2020. Na podlagi prostorske razporeditve ploskev lahko sklepamo, da se povprečna osutost bukove krošnje hitreje veča na jugu in zahodu države, nismo pa raziskovali vzrokov za ta pojav. Domnevamo, da imajo pri tem veliko vlogo talni tipi na karbonatnih podlagah in plitva tla z majhno zadrževalno sposobnostjo za vodo, na katerih hitreje nastane sušni stres (Vilhar in Simončič, 2012), poleg tega pa tudi razpored padavin čez leto in pojav sušnih obdobj. Ena izmed možnih razlag bi bil lahko tudi daljinski transport onesaženega zraka, ki ga v ta del Slovenije prinesejo zahodni vetrovi iz Padske nižine (Skudnik in sod., 2016; Žlindra in sod., 2015).

Ne znamo si razlagati, zakaj je bila leta 2003 povprečna osutost bukve zaznavno zmanjšana. Leta 2003 je bila v Sloveniji katastrofalna suša (Kajfež-Bogataj in Bergant, 2005; Sušnik in Kurnik, 2004). Zato bi pričakovali prav nasprotno, t.j. bistveno povečanje osutosti bukve. Razloga zato ne poznamo oz. bi bil lahko v nekoliko zapoznelem odzivu bukve na sušni stres. Osutost namreč ocenjujemo od junija do avgusta tekočega leta. Rohner in sod. (2021) so tako v poznem poletju 2018 že zaznali povečano osutost in rumenenje listov pri bukvi zaradi močne suše tisto leto. Ključne pojasnjevalne spremenljivke glede povečevanja osutosti pri bukvi so bile: prejšnji debelinski prirastek, mešanost drevesnih vrst, drevesna višina in pomanjkanje padavin. Sušice in nadomestna drevesa za izpadla drevesa iz ploskev M6 niso pojasnili spornega izboljšanja stanja bukve v letu 2003 v Sloveniji. Dejstvo pa je, da se je po letu 2003 začela povprečna osutost krošnje bukve značilno hitreje večati, kar smo ugotovili v naši raziskavi.

Za povprečno poškodovanost bukove krošnje je bilo prelomno leto 2014, ko je bil katastrofalen žledolom (de Groot in sod., 2018; Marinšek in sod., 2015; Nagel in sod., 2016). To je bilo prelomno leto glede drastične spremembe glavnih povzročiteljev poškodb bukve. Dejstvo je, da je bil trend večanja osutosti bukve podoben že pred letom 2014, in sicer od leta 2003 naprej. V obdobju po letu 2014

se je sprva zelo povečala povprečna poškodovanost krošnje zaradi škodljivih abiotских dejavnikov, t.j. žleda, ki se je potem počasi zmanjšala, vendar se ni vrnila na stanje pred žledolomom, saj je le-ta na bukvi pustil dolgotrajnejše posledice. Podobno se je zgodilo s poškodbami, povezanimi z obsežno sanacijo žledoloma – poškodbe zaradi neposrednih človekovih vplivov so se po žledolomu 2014 naglo povečale, potem se za malenkost zmanjšale, vendar so ostale na bistveno višji ravni kot pred letom 2014. Žledolom 2014 je sprožil tudi povečanje poškodb bukve zaradi gliv in drugih dejavnikov.

Pri hiranju bukve imajo domnevno veliko vlogo tudi spremembe podnebja (Dulamsuren in sod., 2017; Rohner in sod., 2021). Rezultati simulacij na osnovi treh podnebnih scenarijev kažejo, da se bo vzorec razporeditve gozdne vegetacije spremenjal pod vplivom podnebnih sprememb (Kutnar in sod., 2009). Zdaj prevladujoči pretežno bukovski gozdovi bi bili v spremenjenih okoljskih razmerah lahko zelo prizadeti. Model napoveduje zmanjšanje deleža prevladujočih mezofilnih bukovskih gozdov s sedanjih 57 % na samo 3 % po pesimističnem scenariju in do 29 % po optimističnem scenariju do leta 2070. V toplejšem podnebnju bi se zelo razširile različne termofilne gozdne združbe. Model je empiričen in ne vključuje vpliva bolezni in škodljivcev.

Večanje osutosti bukove krošnje je pokazatelj slabšanja vitalnosti bukve. Kot odziv na to je bukev v zadnjih letih večkrat močnejše semenila, kar jo je še dodatno izčrpalo. Sicer opazamo tudi velikopovršinsko pomlajevanje bukve, saj skozi presvetljene krošnje do tal prispe večja količina svetlobe, kakor tudi zaradi obsežnih naravnih ujm v zadnjih letih, ki so marsikje zelo odprle gozdne sestoje. Na več lokacijah v Sloveniji opazmo povečano poškodovanost bukovega mladja zaradi patogenih gliv iz družin Nectriaceae in Botryosphaeriaceae (Ogris, 2021, neobjavljeno; Ogris in sod., 2020; Ogris in sod., 2019). Vendar ocenjujemo, da zaenkrat pomlajevanje bukve še ni ogroženo; mogoče pa bo v prihodnosti.

Natančnih vzrokov za splošno slabšanje zdravstvenega stanja bukve po vsej Sloveniji ne poznamo. Za potrebe dolgoročnega načrtovanja gospodarjenja z bukvijo bi nujno morali poznati vzroke, na podlagi katerih bi naredili oceno tvega-

nja in dolgoročne usmeritve, kar bi lahko prenesli v gozdnogospodarske načrte in posledično v gozdnogojitvene načrte. Vzroke za hiranje navadne bukve v Sloveniji bomo podrobneje raziskali v projektu Bolezni, škodljivci in sušni stres pri navadni bukvi v različnih scenarijih podnebnih sprememb (V4-2026). Poleg tega bomo ocenili potencialno ogroženost navadne bukve zaradi bolezni, škodljivcev in suše v prihodnjih 10–50 letih glede na tri scenarije podnebnih sprememb. Cilji projekta vključujejo tudi razvoj modela razširjenosti bukve, v katerega bomo vključili vplive škodljivih dejavnikov in na njegovi podlagi naredili projekcijo potencialne razširjenosti navadne bukve v prihodnjih 10–50 letih glede na tri scenarije podnebnih sprememb; izdelavo priporočil in usmeritev za dolgoročno gospodarjenje z navadno bukvijo z vidika njenega zdravja, kar bi lahko uporabili v gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih.

5 POVZETEK

V zadnjih letih je postala bukev (*Fagus sylvatica* L.) v lesni zalogi najbolj zastopana drevesna vrsta v Sloveniji, saj predstavlja kar 33,4 % celotne lesne zaloge. Povprečna osutost bukove krošnje se v zadnjih desetih letih vztrajno slabša in je v zadnjih letih presegla 30 %. Natančnih vzrokov za slabšanje vitalnosti bukve po vsej Sloveniji ne poznamo. Domnevno je hiranje bukve posledica množice škodljivih organizmov in škodljivih abiotičnih dejavnikov, ki povzročajo t.i. kompleksno bolezen navadne bukve, ki se kaže kot dolgoročno hiranje ali počasno propadanje tako posameznih dreves kot celotnih bukovih sestojev. Slabšanje vitalnosti bukve so opazili tudi drugod v Evropi.

Namen prispevka je bil ugotoviti dolgoročen trend osutosti krošnje navadne bukve v Sloveniji v obdobju od 1993 do 2020 in preveriti delež pojasnjene osutosti bukove krošnje s pomočjo podatkov iz popisa razvrednotenja in poškodovanosti gozdov. V ta namen smo analizirali podatke iz letnih popisov razvrednotenja in poškodovanosti gozdov v Sloveniji, ki jih vzdržuje Gozdarski inštitut Slovenije. Podatke o osutosti in poškodovanosti dreves zbiramo na 16 × 16 km sistematični vzorčni mreži traktov, ki so

sestavljani iz štirih ploskev M6 (metoda šestih najbližjih dreves). Podatki o osutosti se nanašajo na obdobje 1993–2020, podatki o povzročiteljih poškodb drevja pa na obdobje 2009–2020.

Od leta 1993 do 2020 se je povprečna osutost bukove krošnje povečala iz 13,9 % na 32,2 %. Analiza linearnega trenda kaže povečanje povprečne osutosti bukovih krošenj za 0,63 % na leto ($r^2 = 0,89$, $p < 0,001$). Leta 2003 se je povprečna osutost bukve značilno zmanjšala, zato smo izračunali še linearen trend do leta 2003 in po letu 2003. Regresijski koeficient za obdobje 2003–2020 je bil višji, t.j. 0,94, in pojasnjen delež variance je bil zelo velik (96,8 %).

V letu 2014, ko je gozdove prizadel žledolom, so se spremenili glavni povzročitelji osutosti bukve. Pred letom 2014 so osutost bukove krošnje najbolje pojasnjevale poškodbe zaradi žuželk. Po letu 2014 so se povečale poškodbe bukve zaradi žleda, gliv, neposrednih človekovih vplivov in drugih dejavnikov. V zadnjih dveh letih 2019 in 2020 so glive najpomembnejše povzročiteljice poškodb bukve. Pri zmanjšanju vitalnosti bukve imajo lahko veliko vlogo tudi podnebne spremembe, še posebno vroča in sušna poletja, ki pri drevesih povzročajo sušni stres, ter vse več ekstremnih vremenskih dogodkov in ujem v gozdovih.

Natančnih vzrokov za splošno slabšanje zdravstvenega stanja bukve po vsej Sloveniji še ne poznamo. Za potrebe gozdnogospodarskega in gozdnogojitvenega načrtovanja bi nujno morali poznati vzroke za slabšanje vitalnosti bukve, na podlagi česar bi naredili oceno tveganja in dolgoročne usmeritve, ki bi jih lahko prenesli v gozdnogospodarske in gozdnogojitvene načrte.

5 SUMMARY

Recently, the beech (*Fagus sylvatica* L.) has become the most represented tree species in the wood stock in Slovenia since it represents 33.4 % of the entire wood stock. The average beech defoliation is persistently increasing in the last ten years, and it exceeded 30 % in recent years. We do not know the exact causes for the vitality decline of the beech throughout Slovenia. Presumably, the beech decline is caused by a multitude of harmful organisms and harmful abiotic factors causing

so-called common beech complex disease that is seen as a long-term decline or slow decay of both individual trees and entire beech stands. The beech vitality deterioration was detected also in other parts of Europe.

The aim of this article is to determine the long-term trend of the common beech defoliation in Slovenia in the period from 1993 to 2020 and to check the share of the explained beech defoliation using the data from the inventory of the forest devaluation and damage in Slovenia. For this purpose, we analyzed the data from the annual Slovenian devaluation and damage inventories maintained by the Slovenian Forestry Institute. The data on the defoliation and damage of the trees are acquired on the 16×16 km systematic sampling grid of the tracts composed of four M6 plots (method of the six nearest trees). The data on the defoliation refer to the 1993–2020 period and the data on the agents causing tree damage to the 2009–2020 period.

From 1993 to 2020, the average beech defoliation increased from 13.9 % to 32.2 %. The analysis of the linear trend shows the increase of the beech defoliation for 0.63 % yearly ($r^2 = 0.89$, $p < 0.001$). In 2003, the average beech defoliation significantly decreased, therefore we also calculated the linear trend until the year 2003 and after the year 2003. The regression coefficient for the period 2003–2020 was higher, i.e., 0.94, and the explained variance was very high (96.8 %).

In 2014, when the forests were affected by the ice storm, the main beech defoliation causing agents changed. Before 2014, the beech defoliation was best explained by the damage due to insects. After 2014 the beech damage due to sleet, fungi, direct man-made impacts, and other factors increased. In the last two years, 2019 and 2020, fungi are the most important cause of beech damage. In beech vitality decrease, also the climatic changes can play a very big role, above all hot and dry summers which cause drought stress in trees, and an increasing number of extreme weather events and disasters in the forests.

We still do not know the exact causes for the general deterioration of beech health throughout Slovenia. For the needs of the forest management and silvicultural planning, we should

urgently know the reasons for the beech vitality deterioration; on their basis, we could perform risk evaluation and long-term guidelines which could be transferred into forest management and silvicultural plans.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENT

Prispevek je nastal v okviru projekta Bolezni, škodljivci in sušni stres pri navadni bukvi v različnih scenarijih podnebnih sprememb (V4-2026), ki ga financirata Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Projekt poteka v sklopu programske skupine Gozdna biologija, ekologija in tehnologija (P4-0107) na Gozdarskem inštitutu Slovenije, ki jo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Raziskava temelji na podatkih popisa razvrednotenja in poškodovanosti gozdov, ki ga izvaja Gozdarski inštitut Slovenije v okviru Javne gozdarske službe naloga 1: Usmerjanje in strokovno vodenje spremljanja stanja razvrednotenja in poškodovanosti gozdov (RPG), ki jo financira Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Zahvaljujemo se vsem sodelavkam (mag. Špela Planinšek) in sodelavcem (Jure Žlogar, Anže Martin Pintar) Gozdarskega inštituta Slovenije (Oddelek za načrtovanje in monitoring gozdov in krajine), ki sodelujejo v popisu poškodovanosti gozdov.

7 VIRI

7 REFERENCES

- Breznikar A. 2018. Ukrepi po vetrolomu v slovenskih gozdovih med 11. in 13. Decembrom 2017. *Ujma*, 32: 86–93
- Brück-Dyckhoff C., Petercord R., Schopf R. 2019. Vitality loss of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and infestation by the European beech splendour beetle (*Agrilus viridis* L., Buprestidae, Coleoptera). *Forest Ecology and Management*, 432: 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.001>
- Chakraborty T., Reif A., Matzarakis A., Saha S. 2021. How Does Radial Growth of Water-Stressed Populations of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) Trees Vary under Multiple Drought Events? *Forests*, 12, 2: 129. <https://doi.org/10.3390/f12020129>

- de Groot M., Ogris N., Kobler A. 2018. The effects of a large-scale ice storm event on the drivers of bark beetle outbreaks and associated management practices. *Forest Ecology and Management*, 408: 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.035>
- Dulamsuren C., Hauck M., Kopp G., Ruff M., Leuschner C. 2017. European beech responds to climate change with growth decline at lower, and growth increase at higher elevations in the center of its distribution range (SW Germany). *Trees*, 31, 2: 673–686. 10.1007/s00468-016-1499-x
- Eichhorn J., Roskams P., Potočić N., Timmermann V., Ferretti M., Mues V., Szepesi A., Durrant D., Seletković I., Schroeck H.W., Nevalainen S., Bussotti F., Garcia P., Wulff S. 2020. Part IV: Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents. V: UNECE ICP Forests Programme Coordinating Centre (ur.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Eberswalde, Germany, Thünen Institute of Forest Ecosystems: 50
- Europe F. 2020. State of Europe's Forests 2020. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe: 394 str. <https://foresteurope.org/>
- GIS. 2021. Podatkovna zbirka o spremljanju stanja gozdov v Sloveniji na sistematični mreži 16 × 16 km. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije
- Granata G., Sidoti A. 2004. *Biscogniauxia nummularia*: pathogenic agent of a beech decline. *Forest Pathology*, 34, 6: 363–367. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0329.2004.00377.x>
- Jung T. 2009. Beech decline in Central Europe driven by the interaction between *Phytophthora* infections and climatic extremes. *Forest Pathology*, 39, 2: 73–94
- Jurc D., Jurc M. 2014. Popis povzročiteljev poškodb drevja. V: Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov: Priročnik za terensko snemanje podatkov. Kovač M. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 143–177
- Kajfež-Bogataj L., Bergant K. 2005. Podnebne spremembe v Sloveniji in suša. *Ujma*, 19: 37–41
- Kovač M. (ur.) 2014. Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov: Priročnik za terensko snemanje podatkov. *Studia Forestalia Slovenica*. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 228 str.
- Kovač M., Skudnik M., Japelj A., Planinšek Š., Vochl S. 2014. Gozdna inventura. V: Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov: Priročnik za terensko snemanje podatkov. Kovač M. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 7–111
- Kutnar L., Kobler A., Bergant K. 2009. Vpliv podnebnih sprememb na pričakovano prostorsko prerazporeditev tipov gozdne vegetacije. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 89: 33–42
- Lakatos F., Molnár M. 2009. Mass mortality of beech (*Fagus sylvatica* L.) in South-West Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 5: 75–82
- Marinšek A., Celarc B., Grah A., Kokalj Ž., Nagel T.A., Ogris N., Oštir K., Planinšek Š., Rozenberger D., Veljanovski T., Vochl S., Železnik P., Kobler A. 2015. Žledolom in njegove posledice na razvoj gozdov - pregled dosedanjih znanj. *Gozdarski vestnik*, 73, 9: 392–405
- MKG. 2016. Poročilo o izvajanju Nacionalnega gozdnega programa do 2014. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 97 str.
- Nagel T.A., Firm D., Rozenberger D., Kobal M. 2016. Patterns and drivers of ice storm damage in temperate forests of Central Europe. *European Journal of Forest Research*, 135, 3: 519–530. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0950-2>
- OECD. 2021. Forest resources (indicator). Organisation for Economic Co-operation and Development. <http://doi.org/10.1787/2546ca0a-en> (23.5.2021)
- Ogris N. 2020. Hiranje navadne bukke po vsej Sloveniji 2010–2019. Novice iz varstva gozdov, 13: 3–7. <http://dx.doi.org/10.20315/NVG.13.2>
- Ogris N. 2021. „Bolezni na bukovem mladju 2019–2021“. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije (osebni vir, 3. 7. 2021)
- Ogris N., Piškur B., Cvelbar T., Devetak Z., Jagodic Š., Kavčič A. 2020. Poročilo o preskusu št. LVG 2020-362: Črnelaške doline, navadna bukev, toča in gliva *Neonectria coccinea*. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Laboratorij za varstvo gozdov: 1 str.
- Ogris N., Piškur B., Devetak Z., Jagodic Š., Brglez A. 2019. Poročilo o preskusu št. LVG 2019-118: bukov rak (*Neonectria ditissima*, *N. coccinea*), Čemšeniška planina, ZGS OE Celje. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Laboratorij za varstvo gozdov: 1 str.
- Ogris N., Skudnik M. 2020. Poročilo o popisu povzročiteljev poškodb drevja. V: Poročilo o spremljanju stanja gozdov za leto 2019. Planinšek Š., Žlindra D. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 19–24
- Rohner B., Kumar S., Liechti K., Gessler A., Ferretti M. 2021. Tree vitality indicators revealed a rapid response of beech forests to the 2018 drought. *Ecological Indicators*, 120: 106903. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106903>
- RS. 2009. Pravilnik o varstvu gozdov. Uradni list RS, 114/2009 in 31/2016

- Senf C., Pflugmacher D., Zhiqiang Y., Sebald J., Knorn J., Neumann M., Hostert P., Seidl R. 2018. Canopy mortality has doubled in Europe's temperate forests over the last three decades. *Nature Communications*, 9, 1: 4978. 10.1038/s41467-018-07539-6
- Skudnik M., Grah A., Poljanec A. 2019. Spremembe zgradbe in drevesne sestave slovenskih gozdov v zadnjih desetih letih. V: *Gozd in les 2019: Klimatske spremembe in gozd*. Kraigher H., Humar M. (ur.). Ljubljana, založba Silva Slovenica, Gozdarski inštitut Slovenije: 2–7
- Skudnik M., Jeran Z., Batič F., Kastelec D. 2016. Spatial interpolation of N concentrations and $\delta^{15}\text{N}$ values in the moss *Hypnum cupressiforme* collected in the forests of Slovenia. *Ecological Indicators*, 61: 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.038>
- Skudnik M., Planinšek Š. 2020. Spremljanje gozdov v letu 2019, Raven I. V: Poročilo o spremljanju stanja gozdov za leto 2019. Planinšek Š., Žlindra D. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 9–18
- Sušnik A., Kurnik B. 2004. Katastrofalna kmetijska suša 2003. *Ujma*, 17–18: 54–60
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Veselič Ž., Grecs Z., Kolšek M., Oražem D., Matijašič D., Beguš J. 2015. Žled v Slovenskih gozdovih in njihova sanacija. *Ujma*, 29: 188–194
- Vettraino A.M., Jung T., Vannini A. 2008. First report of *Phytophthora cactorum* associated with beech decline in Italy. *Plant Disease*, 92, 12: 1708
- Vilhar U., Simončič P. 2012. Water status and drought stress in experimental gaps in managed and semi-natural silver fir-beech forests. *European Journal of Forest Research*, 131, 5: 1381–1397. 10.1007/s10342-012-0605-x
- Žlindra D., Levanič T., Rupel M., Skudnik M. 2015. Degradation of *Fagus sylvatica* on Trnovo plateau in southwest Slovenia. V: Long-term trends and effects of air pollution on forest ecosystems, their services, and sustainability, 4th ICP Forests Scientific Conference, May 2015, Ljubljana, Slovenia. Seidling W. (ed.). Ljubljana, Slovenian Forestry Institute, The Silva Slovenica Publishing Centre: 49