

Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper

Prispjelo - Received: 31. 05. 2019.
Prihvaćeno - Accepted: 17. 06. 2019.

**Milan Pernek¹, Nikola Zorić¹, Marta Matek¹,
Ivan Lukić¹, Sanja Novak Agbaba¹, Boris Liović¹,
Ivana Mihaljević¹, Nikola Lacković¹✉**

SUŠENJE ALEPSKOG BORA I GRADACIJA POTKORNJAKA *ORTHOTOMICUS EROSUS* U PARK ŠUMI MARJAN

*DIEBACK OF ALEPPO PINE AND OUTBREAK OF BARK BEETLE
ORTHOTOMICUS EROSUS IN FOREST PARK MARJAN*

SAŽETAK

Intenzivno sušenja borova na Marjanu primijećeno je 2017. godine, a vjerojatno je započelo 2016. godine pojedinačnim sušenjem stabala alepskog bora. Uzimajući u obzir vrlo ozbiljne razmjere i širenje sušenja stabala u Park šumi Marjan, cilj ovog istraživanja utvrditi je moguće uzroke sušenja alepskog bora s fokusom na determinaciju uzročnika, dobnu i debljinsku strukturu sušaca te utjecaja klime na sušenje. U 2017. godini oboreno je nekoliko stabala zaraženih borova, s kojih su sakupljeni uzorci sa simptomima bolesti iglica i grana. Uzorci su se obilježili i transportirali u laboratorij Hrvatskog šumarskog instituta, gdje su inkubirani i pripremani za daljnju analizu. Sakupljao se zaraženi materijal svih dijelova stabla te se evidentirala zaraza. Zaražen materijal inkubiran je u kaveze na kontroliranim uvjetima temperature ($20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$) te odnosa dana i noći (L : D = 18 : 6). U kavezima su se sakupljale izašle jedinke kukaca, koje su pohranjene u alkoholu ili odmah determinirane. Iz svih dijelova stabala u klima komori izašli su potkornjaci *Orthotomicus erosus* i *Pityogenes calcaratus*. Obje vrste spadaju u štetne organizme, ali u radu se, ipak, više pažnje daje mediteranskom potkornjaku, koji je u gradacijskoj fazi te je vjerojatno počeo napadati i zdrava stabla. Na cijelom području Park šume Marjan, pod šumom, položene su primjerne pruge, dijagonalno kroz svaki odjel/odsjek u 2017., 2018. i 2019. godini. Svakom stablu na koje se naišlo izmjeren je promjer i visina, te je vizualnim pregledom i korištenjem dalekozora određena kategorija zdravstvenog stanja, pri čemu su sušci borova raspoređeni u jednu od 5 kategorija stupnja sušenja. Najveći broj potkornjacima zaraženih stabala srednjeg su promjera 27 cm, dok je za cijelu šumu srednji promjer

¹ Hrvatski šumarski institut, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko

✉ Kontakt autor/Corresponding author: Nikola Lacković, nikolal@sumins.hr

signifikantno veći i iznosi 31 cm. U 2017. godini na Marjanu se sušilo oko 7.500 stabala borova, što predstavlja 13 % svih stabala, a sušenje se nastavlja i u sljedećim godinama, dosežući kumulativno 17 % u 2018. te 23 % u 2019. godini. Sezonska odstupanja temperature i oborina u percentilima ukazuju na višegodišnji pomak normale prema toplijem i sušnijem. Više temperature i ekstremne suše stvaraju kumulativni stres na stabla. S druge strane, kukci su poikilotermne životinje, brzo reagiraju na promjene u temperaturi, što kod vrsta s visokim biološkim potencijalom, poput nekih vrsta potkornjaka, može dovesti do brze populacijske i prostorne ekspanzije, odnosno gradacije. Uočeni fenomen upućuje na zaključak da je uzrok sušenju borova na Marjanu ulančavanje nekoliko nepovoljnih čimbenika (suša, produljenje vegetacije uslijed promjena u klimi), što je rezultiralo gradacijom potkornjaka *O. erosus*. Nova saznanja proizašla iz ovog istraživanja pokazuju da se mediteranski potkornjak najprije pojavljuje u krošnji, a zatim u deblu i donjim dijelovima stabla. Predlaže se da se donji nezaraženi dijelovi stabla koriste kao lovna. Gradacija potkornjaka *O. erosus* kakva je zabilježena u ovom istraživanju nikada prije pojave na Marjanu nije evidentirana u Hrvatskoj, te je moguće da će ovaj štetnik, ustraju li aridifikacijske promjene, postati permanentan problem u mediteranskim šumama.

Ključne riječi: *Pinus halepensis*, klimatske promijene, aridifikacija, mediteranski potkornjak

UVOD

INTRODUCTION

Park šuma Marjan smještena je na marjanskom poluotoku, krajnje zapadnom dijelu splitskog poluotoka, i ukupne je površine 300.29 ha. Pod vegetacijom nalazi se 196.24 ha, većim dijelom na sjevernoj strani poluotoka. Kao i u većini šuma Mediterana, na to su se područje adaptirali autohtoni hrastovi tolerantni na sušu (Timbal i Anssenc 1996), ali zbog civilizacijskih je pritisaka u prošlosti, degradacijom i deforestacijom, nestala stabilna biocenoza, koja prelazi u kameni krš s degradacijskim oblicima mediteranskih hrastovih šuma. Većina mediteranskih šuma tako je u 19. stoljeću gotovo nestala (Quezel 1974). Šume borova priobalnog pojasa općenito imaju izrazitu općekorisanu funkciju (Sabadi i dr. 1988, Prpić i dr. 2005) s naglašenom zaštitnom, ekološkom i socijalnom ulogom, a zbog svojeg položaja pod jakim su antropogenim utjecajem. Borovim sastojinama, koje su najčešće umjetno podignute, uloga, uglavnom, nije gospodarska, već se u Sredozemlju puno više ističe njihova zaštitna funkcija (protuerozijska, hidrološka i vodozaštitna) (Matić i dr. 2005).

Obnova šume na Marjanu započela je 1852. godine pošumljavanjem borova, koje su u kasnijim razdobljima obnavljane do-sadnjom borova i drugih vrsta (npr. Čempresom – *Cupressus sempervirens* L., brucijskim borom – *Pinus brutia* Tenore), a dijelom su se same prirodno obnavljale. Park šuma Marjan predstavlja skup jednodobnih sastojina različite starosti i među prvim je uspješno podignutim šumskim

kompleksima pošumljavanjem na području jadranskog krša (Vrdoljak 1996). Vegetaciju većim dijelom čini alepski bor – *Pinus halepensis* Miller, a zbog karaktera monokulture pod stalnim je pritiskom negativnih biotičkih i abiotičkih čimbenika. Mediteranska regija je „hotspot“ za hidrološke promjene, a ozon i nitratna depozicija osobito su izražene (Marotti 2010; Carnicer i dr. 2011). Klimatske promjene naročito se naglašavaju u tom kontekstu. Međuvladin panel o klimatskim promjenama – IPCC (2014) u svom 5. izvješću 2014. godine ukazuje da će se učestalost i intenzitet suša povećati upravo na Mediteranu. Takvi uvjeti mogu pogodovati biotičkim čimbenicima. Prema Battisti i Larson (2016) klimatske promjene izravno djeluju na kukce, na njihovo preživljavanje, reprodukciju, voltinizam i prostorno širenje.

Istraživanje uzroka sušenja borova na Marjanu, polazi od procjene da na Marjanu ima nešto više od 60.000 stabala alepskog bora. Njihovo intenzivno sušenje primijećeno je 2017. godine. Još 2015. godine sušenje je bilo na razini sporadičnog pojedinačnog sušenja, što se smatralo normalnom pojavom. Broj suhih stabala, međutim, postepeno se povećavao u 2016. godini, da bi kulminirao 2017. godine. Prva istraživanja u 2016. godini pokazala su da potkornjak vrste borov srčikar, *Tomicus destruens* Woll. nije značajnije prisutan te nije uzročnik sušenju (Pernek 2016). Dotad je jedino ta vrsta bila opisivana kao štetnik na alepskom boru u Hrvatskoj (Pernek i dr. 2012). Također, ispitivanje prisutnosti opasnog karantenskog organizma, borove nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* i vektora, borove strizibube iz roda *Monochamus* spp., pokazalo je negativan rezultat, iako je vrsta *Monochamus galloprovincialis* Olivier (Coeoptera, Cerambycidae) prisutna na Marjanu (Pernek 2016).

Uzimajući u obzir vrlo ozbiljne razmjere i širenje sušenja stabala u Park šumi Marjan, cilj ovog istraživanja bio je utvrditi moguće uzroke sušenja alepskog bora s fokusom na determinaciju uzročnika, debljinsku strukturu sušaca i utjecaja klime na sušenje. Rezultati trebaju rasvijetliti razloge nagla sušenja velikog broja stabala, utvrditi činjenice za objektivnije sagledavanje problematike te dati prognoze za budućnost, na temelju čega bi se planirali daljnji koraci u sanaciji šteta i budućem gospodarenju alepskim borom na Marjanu.

MATERIJALI I METODE

MATERIALS AND METHODS

ANALIZA UZROČNIKA SUŠENJA ALEPSKOG BORA

ANALYSIS OF THE CAUSE OF ALEPPO PINE DIEBACK

U 2017. godini oboreno je nekoliko stabala zaraženih borova, s kojih su prikupljeni uzorci sa simptomima bolesti iglica i grana. Uzorci su se obilježili i transportirali u laboratorij Hrvatskog šumarskog instituta, gdje su inkubirani i spremni za daljnju analizu. Prikupljao se zaraženi materijal svih dijelova stabla te se evidentirala zaraza. Zaražen materijal inkubiran je u kaveze na kontroliranim uvjetima tempera-

ture ($20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$) te odnosa dana i noći (L : D = 18 : 6). Nakon izlaska kukaca iz kore sakupljale su se izašle jedinke kukaca, koje su pohranjene u alkoholu ili odmah determinirane. Kukci su identificirani prema dostupnim morfološkim ključevima za potkornjake po taksonomskim kategorijama (Pfeffer 1995).

DEBLJINSKA STRUKTURA SUŠACA I TREND SUŠENJA ALEPSKOG BORA

THICKNESS STRUCTURE OF DRYING TREES AND TENDENCY OF ALEPPO PINE DRYING

Na području Park šume Marjan položeni su transekti dijagonalno kroz svaki odjel/odsjek u 2017., 2018. i 2019. godini. Prolaskom po transektu slučajnim su uzorkom odabirana stabla kojima je izmjeren promjer te im je pregledom određena kategorija stupnja sušenja. U Park šumi Marjan ukupno se nalazi 15 odjela i 33 odsjeka. Svaki odsjek pregledan je na prisutnost sušaca tako da je raspoređen u jednu od 5 kategorija stupnja sušenja: i) **ZDRAVO STABLO** – stablo potpuno zdravo, sa zelenom krošnjom, vitalno, smeđenje iglica iznimka (npr. zbog lomova i sl.); ii) **PRORIJEĐENA KROŠNJA** – stablo s dobrom mogućnošću oporavka, krošnja je prorijeđena, crveno smeđi dijelovi do 25 %; iii) **POCETAK SUŠENJA** – stablo sa slabijom mogućnošću oporavka, veći dio krošnje prorijeđen, crveno-smeđi dijelovi od 25 % do 75 %; iv) **SUHO STABLO** – stablo sa crveno smeđim iglicama u više od 75 % krošnje, bez mogućnosti oporavka; v) **MRTVO STABLO** – stablo bez iglica, sive boje, suhog drveta.

ANALIZA KLIMATSKIH PODATAKA

CLIMATE DATA ANALYSIS

Klimatski podaci korišteni za analizu preuzeti su iz javno dostupnih podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) (http://klima.hr/ocjene_arhiva.php). Vrijednosti različitih parametara klimatskih elemenata svakodnevno se mjere i opažaju na sinoptičkim, klimatološkim i kišomjernim postajama te na automatskim postajama. Srednja dnevna temperatura zraka i količina oborina parametri su koji se svakodnevno mjere. Budući da su ti parametri najznačajniji za šumu, gledale su se mjesečne srednje vrijednosti temperature i oborina, koje su se uspoređivale s višegodišnjim srednjacima za razdoblje 1961.–1990. godine kako bi se ocijenila odstupanja. Prema raspodjeli percentila, toplinske prilike u Hrvatskoj za određeni mjesec i određene godine opisane su sljedećim kategorijama: ekstremno hladno (<2), vrlo hladno (2–9), i hladno (9–25), normalno (25–75), toplo (75–91), vrlo toplo (91–98) te ekstremno toplo (>98). Oborinske prilike na Marjanu za određeni mjesec i godinu opisane su sljedećim kategorijama: ekstremno sušno (<2), vrlo sušno (2–9), i sušno (9–25), normalno (25–75), kišno (75–91), vrlo kišno (91–98) te ekstremno kišno (>98).

REZULTATI

RESULTS

IDENTIFIKACIJA ŠTETNIKA

IDENTIFICATION OF PESTS

Iz svih dijelova stabala u klima komori izašli su potkornjaci vrste *Orthotomicus erosus* Woll. i *Pityogenes calcaratus* Eich. (Coleoptera, Curculionidae). Obje vrste spadaju u štetne organizme (Knižek i Beaver 2004). Mediteranski potkornjak kornjaš je crvenkasto smeđe boje, čiji se hodnici nalaze u živom dijelu kore dužine 2,7–3,5 mm. Ličinke su bijele i bez nogu, dužine oko 2,7–3,5 mm, a izgled se ne mijenja rastom. Jajašca su bijele boje, dijelom prozirna, dužine od oko 1 mm. Imaga su snažni letači, sposobni prijeći područje od nekoliko kilometara u potrazi za pogodnim domaćinom. Najčešće napadaju stabla koja su već fiziološki oslabila, te se stoga na području svog prirodnog rasprostiranja ubrajaju u sekundarne štetnike, a za razmnožavanje im osobito pogoduju sušna razdoblja. Mužjak najprije kolonizira stablo i stvara bračnu komoru, koju potom nastanjuju, najčešće, dvije ženke. Ženke polažu od 26 do 75 jajašaca, po jedno u svoju nišu. Larvalni hodnici nalaze se u živom dijelu kore (floemu). Nakon što ličinke izađu iz jajeta hrane se floemom i s bračnom komoricom te materinskim hodnicima stvaraju specifičan, prepoznatljiv uzorak. Kad su ličinke spremne za kukuljenje, buše hodnike prema kori, osobito ako je floem deblji. Kada se razviju u odrasle jedinke, izlaze iz stabala ostavljajući za sobom malene okrugle izlazne bušotine promjera oko 1,6 mm. Te mlade odrasle jedinke mogu nanovo kolonizirati ista stabla ili prelaze na druga. Prirodno je rasprostranjen u Europi, na Bliskom istoku, središnjoj Aziji i Kini (Knižek i Beaver 2004). Premda je rasprostranjen po čitavoj Europi (https://fauna-eu.org/cdm_dataportal/taxon/da8a2a12-7cc2-44fb-bfe9-4c81bb9a1796), štetu je dosad radio samo u vrlo toplim, mediteranskim predjelima. Na području Turske, Francuske i Maroka ustanovljene su dvije generacije, tri ili četiri u Tunisu i Južnoafričkoj Republici te tri do pet generacija u Izraelu, u kojemu su imaga aktivni od ožujka do listopada (Mendel 1988). Na područjima na kojima je prirodno rasprostranjen, mediteranski potkornjak radi štete na raznim vrstama bora (*Pinus* spp.), a pronađen je i na smreci (*Picea* spp.), jeli (*Abies* spp.), čempresu (*Cupressus* spp.) i cedru (*Cedrus* spp.). Od alohtonih vrsta domaćin mu je duglazija (*Pseudotsuga* spp.) (Mendel 1988). Ova vrsta u Europi ima najviše dvije generacije godišnje, zbog klimatskih promjena, na Mediteranu je moguće dvije do sedam generacija (u najtoplijim dijelovima Mediterana). Kao štetnik s povremenim gradacijama opisan je u Izraelu (Mendel et al. 1986), Iranu (Mendel 1988), Zapadnoj Turskoj (Sarıkaya i Avici 2007) i Tunisu (Ben Jamaa et al. 2007). Ova vrsta prenesena je i u Južnu Afriku, Čile, Kaliforniju (Lee et al. 2005).

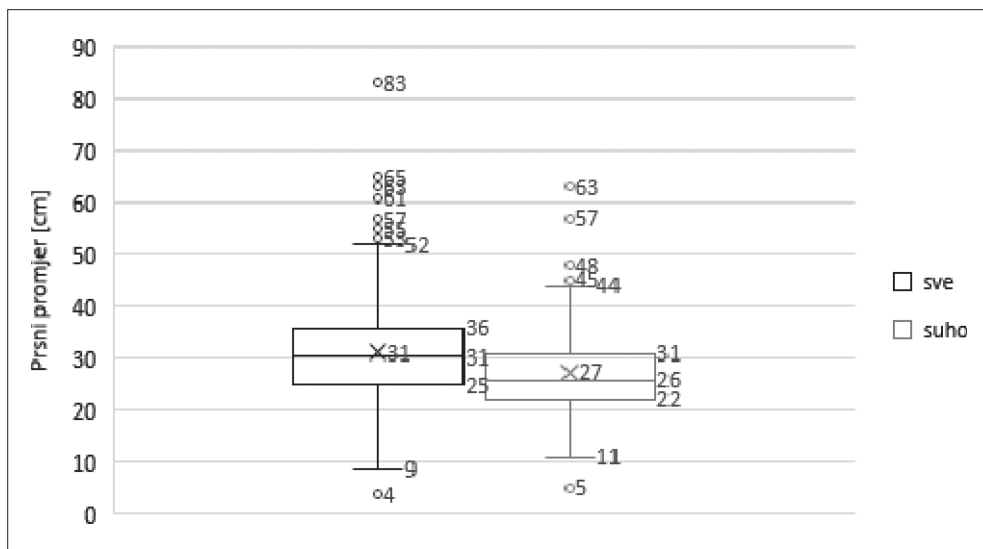
DEBLJINSKA STRUKTURA SUŠACA I TREND SUŠENJA ALEPSKIH BOROVA

THICKNESS STRUCTURE OF DRYING TREES AND TENDENCY OF ALEPPO PINE DRYING

Godine 1970. u marjanskoj je šumi bilo ukupno 115.265 stabala, a 1990. godine 78.080, što znači da se u tom 20-godišnjem razdoblju ukupan broj stabala smanjio za 32 % (Vrdoljak 1996), dok je zadnjim Programom gospodarenja broj stabala procijenjen na oko 55.000 (Martinić i dr. 2008).

Metodom transekta promatrano je ukupno 1650 stabala, od kojih je 264 obuhvaćeno sušenjem. Raspon promjera svih promatranih stabala je od 4 do 83 cm, s aritmetičkom sredinom od $31 \pm 0,2$ cm ($\bar{x} \pm se$) dok je raspon promjera stabala obuhvaćenih sušenjem od 5 do 63 cm s aritmetičkom sredinom $27 \pm 0,5$ cm ($\bar{x} \pm se$). Polovica svih suhih stabala u rasponu je promjera od 22 do 31 cm, dok je polovica promatranih stabala u rasponu promjera 25–36 cm (Slika 1). S obzirom na to da oba skupa podataka (sva stabla i stabla obuhvaćena sušenjem) prate normalnu distribuciju (podaci dostupni na upit), korištenjem t-testa utvrđeno je da su prsni promjeri stabala obuhvaćenih sušenjem statistički značajno manji u odnosu na skup svih opaženih stabala ($t = 7,573$; $p < 0,0001$; $df = 379$).

Početno sušenje u 2016. godini, koje je karakteriziralo sporadično pojedinačno sušenje stabala (Slika 2), nije tipično za potkornjake. Međutim, u 2017. godini



Slika 1. Box-Whisker dijagrami distribucije prsnih promjera svih opaženih stabala te stabala koja su zahvaćena sušenjem

Figure 1. Box-Whisker diagrams of diameter at breast height distribution of all observed trees and trees affected with drying



Slika 2. Sušenje bora na Marjanu
2016. godine
*Figure 2. Drying of pine trees
on Marjan in 2016*



Slika 3. Sušenje bora na Marjanu
2017. godine
*Figure 3. Drying of pine trees
on Marjan in 2017*

intenzitet se sušenja povećao te se počinju uočavati krugovi suhih stabala (Slika 3), što je tipičan obrazac kod napada potkornjaka, kakav je poznat za, naprimjer, smrekovog potkornjaka (*Ips typographus*) ili borovog srčikara (*Tomicus destruens*) (Franjević i dr. 2012).

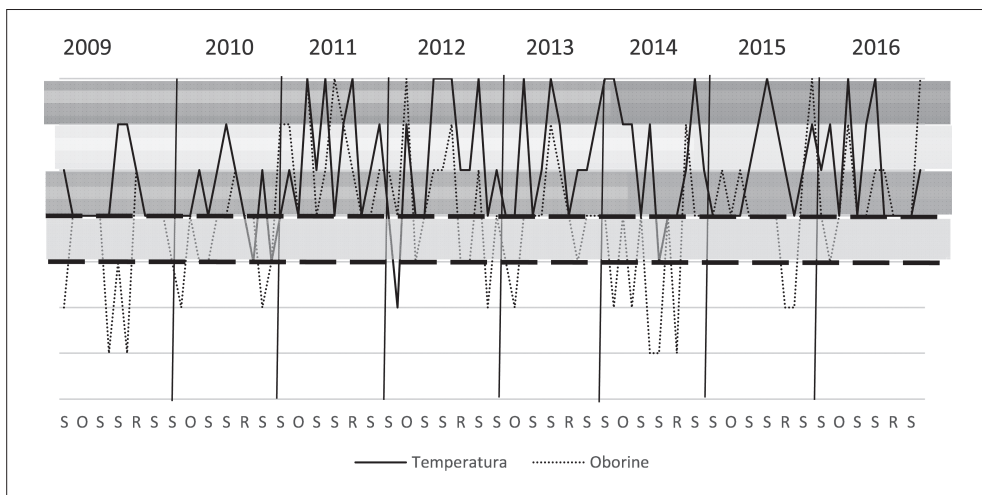
Pregledom 1.650 (3 %) stabala u 2017. godini slučajnim odabirom stabala na transektu, prema kategorijama stupnja sušenja utvrđeno je 60 % potpuno zdravih stabala, dok je oko 27 % sa simptomima pada vitaliteta, no i dalje zdravo. Mrtvih i suhih stabala u 2017. godini ima ukupno 13 %. Sušenje se nastavilo sljedećih godina te je 2018. suho već 17 %, a 2019. 23 % stabala (Tablica 1). U 2019. godini vidljiv je značajan pad zaraženih stabala, ali i stabala sa simptomima početka sušenja.

Tablica 1. Razmjeri kategorija sušenja po godinama na Marjanu
Table 1. Proportion of the drying categories by years on Marjan

	Mrtvo	Zaraženo	Početak sušenja	Prorijedena krošnja	Zdravo
2017	5,0 %	8,0 %	8,0 %	19,0 %	60,0 %
2018	6,3 %	11,1 %	10,3 %	25,0 %	47,3 %
2019	18,9 %	4,1 %	2,8 %	20,5 %	53,7 %

ANALIZA KLIMATSKIH PODATAKA CLIMATE DATA ANALYSIS

Analiza temperature i oborina za područje istraživanja pokazuje određena odstupanja od srednjih vrijednosti (podaci: DHMZ) (Slika 4). Izrazita odstupanja od prosjeka počinju u proljeće i ljeto 2011. godine kada se bilježe ekstremno visoke temperature, s jakom sušom (Slika 4). Ekstremi se nastavljaju 2012. godine te dijelom u 2013. godini. Visoke temperature prati ekstremno sušno razdoblje (Slika 4).



Slika 4. Sezonska odstupanja temperature (°C) i oborina (mm) u percentilama (prilagođeni podaci DHMZ-a)

Figure 4. Seasonal deviations of temperature (°C) and precipitation (mm) in percentile (adjusted DHMZ data)

crveno - ekstremno toplo i ekstremno suho; žuto - vrlo toplo i vrlo suho; zeleno - toplo i suho;
sivo - normalno toplo i normalno vlažno
*red - extremely warm and extremely dry; yellow - very warm and very dry; green - warm and dry;
gray - normally warm and normally humid*

NOVA SAZNAJNA VAŽNA ZA INTEGRIRANU ZAŠTITU ŠUMA

NEW FINDINGS IMPORTANT FOR INTEGRATED FOREST PROTECTION

Još u veljači oboreno je nekoliko stabala još zelene krošnje, ali sa simptomima sušenja (Slika 5). Prije obaranja kontrolirana je visina na kojoj se pojavljuje potkornjak (Slika 6). Na stablima se izlazne rupe najprije pojavljuju u krošnji što znači da je mediteranski potkornjak najprije prisutan u tom dijelu stabla, a nakon što slomi otpor stabla ubušuje se i u donje dijelove (Slika 7 i 8). Ovo je važno, stoga što se donji nezaraženi dijelovi stabla mogu koristiti kao lovna stabla, koja su važan dio integrirane zaštite šuma. Tako se izbjegava rušenje potpuno zdravih stabala.

Također, vrlo je važno prepoznavati stabla iz kojih je potkornjak izašao. Takva stabla ne predstavljaju nikakvu opasnost za širenje zaraze, naprotiv, mogu biti važna za razvoj i širenje prirodnih neprijatelja. Stoga stabla koja su mrtva treba rušiti iz estetskih ili protupožarnih razloga, ali nikako ne prioritarno kao preventivnu mjeru zaštite, jer tu funkciju ne ispunjava. Za kontrolu prisutnosti potkornjaka, sa sumnjivog stabla (otpala kora, otpale iglice) (Slika 9), skida se kora i provjerava ima li živih



Slika 5. Primjer još uvijek zelene krošnje stabla zaražena potkornjacima
Figure 5. An example of still green canopy of trees infested by bark beetles



Slika 6. Hodnici potkornjaka na 6m visine, donji dio do 6m služi kao lovno stablo
Figure 6. Bark beetle galleries at 6 m height, lower part up to 6 m serves as trap tree



Slika 7. Stablo P1 bez potkornjaka *Orthotomicus erosus* u deblu sve do krošnje
*Figure 7. Tree P1 without bark beetle *Orthotomicus erosus* in the trunk up to the crown*



Slika 8. Stablo P1 s potkornjakom *Orthotomicus erosus* u krošnji
*Figure 8. Tree P1 with bark beetle *Orthotomicus erosus* in tree canopy*

jedinki potkornjaka. Ispunjeni hodnici tamnom piljevinom s visokom vlagom (Slika 10) znak su da to stablo više nije zarazno. Isto tako, potpuno suha kora koja se teško odvajava od drveta ili otpala kora znak je da stablo ne predstavlja rizik.



Slika 9. Stablo bez zelenih dijelova krošnje, suhe kore – nije prioritet rušenja
Figure 9. The tree without green crown parts and with dry bark- not the priority for the cutting



Slika 10. Stablo iz kojeg su izišli potkornjaci – nije prioritet rušenja
Figure 10. The tree from which the bark beetles emerged-not the priority for the cutting

RASPRAVA

DISCUSSION

Prema Petom nacionalnom izvješću Republike Hrvatske sukladno Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime koje je izdao Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) (http://klima.hr/razno/publikacije/klimate_promjene.pdf) promjene ukazuju na smanjenje prosječnog broja dana sa snijegom, na povećanje broja vrućih dana, te na manje povećanje broja dana sa signifikantnom oborinom u zimi. U primorskom dijelu Hrvatske i neposrednom zaleđu očekuje se smanjenje ukupne količine oborina u većem dijelu godine.

Poznato je da nepovoljna odstupanja temperatura i oborina povećavaju rizik opstanka za mnoge šumske vrste drveća. S jedne strane, stabla u takvim uvjetima fiziološki slabe, s druge strane, štetni organizmi najčešće imaju povoljnije uvjete za razvoj (Wilf i Labandeira 1999). Budući da se u budućnosti prognozira veće prisustvo ekstremnih pojava poput orkanskih vjetrova ili sušnih perioda (Spekat i dr. 2007), negativan utjecaj na stabla mogao bi biti višestruk. Nepovoljne posljedice povećanja temperature i utjecaj suša nisu vidljive odmah, već nakon nekog vremena, obično nekoliko godina (Logan i dr. 2001, Malanson 2001). S obzirom na to da je suša regi-

strirana na Marjanu 2014. godine, to objašnjava pojavu prvih simptoma u 2016. godini te kulminaciju sušenja borova u 2017. i 2018. godini. Klimatske promjene mogle su nepovoljno utjecati na borove na dva načina: i) izravno, preko fiziološkog slabljenja stabala; ii) neizravno poboljšanjem uvjeta za razvoj raznih vrsta štetnih kukaca. Iz toga se može zaključiti kako između nepovoljnih klimatskih čimbenika i sušenja borova postoji povezanost. Stabla četinjača u obrani protiv štetnih organizama produciraju smolu (Kane i Kolb 2010). Kada postoji opasnost, proces smoljenja se pojačava, ali istovremeno se smanjuje i vitalitet, pa obrana s vremenom slabi.

Klimatske promjene su činjenica (Carnicer i dr. 2011, Levitus i dr. 2017), a stoljetni nizovi mjerenja temperature zraka upućuju na porast srednje mjesečne temperature za 0.02 °C do 0.07 °C na 10 godina.

U marjanskoj je šumi 1970. godine bilo ukupno 115.265 stabala, a 1990. godine 78.080, što znači da se u tom 20-godišnjem razdoblju ukupan broj stabala smanjio za 32 %, a već 1995. iznosio je 63.000 (Vrdoljak 1996). Prema zadnjem programu gospodarenja broj stabala 2008. godine iznosio je oko 55.000 (Martinić i dr.). Rezultati našeg istraživanja debljinske strukture sušaca, na temelju uzorka od 1650 stabala, ukazuju da je srednji promjer stabla zahvaćenih sušenjem statistički značajno manji od srednjeg promjera svih stabala obuhvaćenih izmjerom, a što je u skladu sa dosadašnjim spoznajama da manji potkornjaci, u koje spada *O. erosus*, napadaju ponajviše tanje dijelove većih stabala, a ne prestara stabla zbog debele kore (Lieutier i Paine 2016).

Intenzitet i frekvencija suše povećali su se u Dalmaciji, koja je dio prirodnog areala potkornjaka *O. erosus*, a poznato je da aridifikacija uzrokuje kumulativni stres stablima (Spaić 1964). Usto, sve je više dokaza da klimatske promjene utječu na populacijsku dinamiku šumskih kukaca (Franjević i dr. 2012, Lieutier i Paine 2016, Battisti i dr. 2006, Nealis i Peter 2009). Temperatura je primarni čimbenik koji utječe na razvoj kukaca kao poiklotermnih organizama te oni brzo reagiraju na promjene u temperaturi (Bale i dr. 2002). Te reakcije odražavaju se kroz promjene u gustoći populacije i području pridolaska utjecane vrste (Pureswaran et al. 2018). Općenito, u umjerenim zonama porast temperature povezan s klimatskim promjenama može rezultirati promjenama u osobinama kukaca kao što su: širenje geografskog rasprostranjenja, povećanje uspješnosti prezimljavanja, povećanje broja generacije, produljenje sezone razvoja itd. (Hill i dr. 2011). Osim očitih ekoloških posljedica, pojavljuju se dokazi da klimatske promjene dovode i do genetičkih promjena u populacijama kukaca, bilo zbog promjena u temperaturi (npr. Balanyá i dr. 2006) ili promijena u sezonalnim pojavama (Bradshaw i Holzapfel 2006). Čini se vrlo važnim da kukci sinergijski savladaju obrambene sustave stabla, a povećanje temperature može pozitivno utjecati na ostvarenje toga uvjeta (Porter i dr. 1991). S druge strane, smanjivanje obrambenih aktivnosti stabla uslijed stresa smanjuje otpornost stabla na napad potkornjaka (Bentz i dr. 1991).

Širenje štetnika može biti horizontalno i vertikalno (Parmosan i Yohe 2003). Primjerice borov četinjak, *Thaumatopoea pityocampa* Denis i Schiffermüller (Lepidoptera,

Thaumetopoeidae), počinje se širiti u planinsko područje cedrova (Sbajdji i Kodik 2011) ili u Austriji na 800 m. n. v., gdje dosad zbog hladnoće nije mogao preživjeti. Nadalje, *Dendroctonus ponderosae* Hopkins (Coleoptera, Curculionidae) zbog povećanja temperature sposoban je preživjeti zime (Carroll et al. 2006), te je zarazio 15.000.000 ha borovih šuma, prilagodivši se i na nove domaćine (Raffa et al. 2013).

Ulančavanjem nepovoljnih čimbenika kao što su povećanje temperature, ekstremne suše te napada potkornjaka, koji su determinirani kao uzrok početnog sušenja 2016. godine na Marjanu, na kojemu dodatni negativni čimbenik predstavlja i činjenica da šumsku vegetaciju čini monokultura alepskog bora. Stoga ne čudi da se sušenje naglo povećalo u 2017. i 2018. godini, s obzirom na to da je u novouspostavljenim uvjetima potkornjak mogao ući u gradaciju, pri čemu ujedno postaje i primarni štetnik jer u nedostatku povoljnijeg domaćina napada i potpuno zdrava stabla. Takva pojava dosad nije zabilježena na hrvatskom Mediteranu te je za pretpostaviti da su okolišne promjene djelovale povoljno za mediteranskog potkornjaka omogućivši mu veću reprodukciju i razvoj većeg broja generacija godišnje. U 2017. godini utvrđeno je kako na Marjanu ima oko 13 % mrtvih i suhih stabala, a intenzitet jača u 2018. kada je mrtvo i suho već 17 %, a 2019. godine 23 %. U 2019. godini, međutim, vidljiv je značajan pad zaraženih stabala, ali i stabala sa simptomima početka sušenja. To su mogući prvi pokazatelji oporavka šume, a moguće je da su povezane s povećanjem populacije prirodnih neprijatelja te provedenim mjerama zaštite. Koliko brzo će se šuma oporaviti, ovisi o mjerama zaštite koje su se intenzivno provodile u 2019. godini.

O uzrocima sušenja borova priobalnog pojasa Hrvatske u literaturi je vrlo malo podataka. Pernek i dr. (2012) smatraju da za sušenje borova u Dalmaciji ne postoji jedan izraziti biotički čimbenik, već se sušenje borova treba gledati kao kompleksan fenomen, što znači da dolazi do ulančavanja nepovoljnih utjecaja abiotičkih i biotičkih čimbenika. Napadi potkornjaka, među kojima se naročito ističe borov srčikar, *T. destruens* više su puta evidentirani u području hrvatskog priobalja (Hrašovec i dr. 2008; Pernek i dr. 2012), ali gradacija mediteranskog potkornjaka kakva je zabilježena u ovom istraživanju nikada nije evidentirana te je moguće kako će ovaj štetnik permanentno biti problem u našem području Mediterana što predstavlja izrazitu opasnost za monokulture borova, kao što je situacija u Park šumi Marjan.

Uz ova saznanja, ipak, je još uvijek previše nepoznanica o načinu slamanja otpora stabla. Pretpostavlja se da drugi organizmi, kao što su gljive skupine Ophiostomatoidea. (Ascomycota) (Human et al. 2017), vrlo važne u tom procesu. Pojedine ofiostomatoidne gljive u asocijaciji s potkornjacima pokazuju izrazitu virulentnost, stoga se opravdano pretpostavlja da potpomažu svojim vektorima u nadvladavanju obrambenih mehanizama svojih živućih domaćina. Stimuliranjem obrambene reakcije drveća, posljedično pomažu u njihovu ubrzanu iscrpljivanju te igraju odlučujuću ulogu u uspjehu napada potkornjaka. Ovakvo udruživanje predstavlja učinkovitu strategiju u slabljenju otpornosti domaćina. Ova pojava nije dobro i dovoljno istražena da bi dala osnove za zaključke, te bi se u budućnosti trebala detaljno istražiti.

Pojava mediteranskog potkornjaka u gradaciji nije vezana isključivo za Marjan (Pernek i dr. 2019), već se radi o mnogo širem i ozbiljnijem problemu, vezanom uz klimatske promijene. Problematika je važna za budućnost šuma na Mediteranu, a o načinu ublaživanja negativnih posljedica potrebno je raspraviti i stvoriti strategiju za budućnost već sada. Nesagledive su posljedice za ekološku ravnotežu, gubitak zaštitne funkcije te gospodarski utjecaj na turizam.

ZAKLJUČCI

CONCLUSIONS

1. Sušenje borova na Marjanu počelo je, najvjerojatnije, još u 2016. godini s atipičnim simptomima za potkornjake, intenziviralo se u 2017. te kulminiralo u 2018. godini;
2. Sezonska odstupanja temperature i oborina ukazuju na višegodišnji pomak normale prema toplijem i sušnijem, a usto, nekoliko su godina za redom registrirani klimatski ekstremi (2011-2014). Više temperature i ekstremne suše stvaraju kumulativni stres, a kako kukci imaju sposobnost brze genetičke adaptacije na sezonske promijene, dolazi do brzog i efikasnog prostornog širenja potkornjaka odnosno gradacije;
3. Uzrok sušenju borova na Marjanu ulančavanje je nekoliko nepovoljnih čimbenika (suša, produljenje vegetacije uslijed promjenama u klimi,) koji su rezultirali naglim povećanjem populacije mediteranskog potkornjaka, *Orthotomicus erosus*, popraćenog malim potkornjakom *Pityogenes carcaratus*. Klimatske promjene omogućile su potkornjacima povećan broj generacija te povećanje populacije, koje je dovela do napada zdravih stabala te sušenja u grupama (u 2017. godini), odnosno gradacije potkornjaka;
4. Srednji promjer stabala koji se suše promjera je 27 cm što je statistički značajno manje od srednjeg promjera skupa svih izmjerenih stabala u uzorku;
5. Nova saznanja proizašla iz ovog istraživanja pokazuju da se mediteranski potkornjak najprije pojavljuje u krošnji, a zatim u deblu i donjim dijelovima stabla. Ta se činjenica može koristiti da se stabla zaražene krošnje, a nezaražena debla, koriste kao lovna.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGMENT

Zahvaljujemo svima koji su pomogli i omogućili istraživanje: Robert Koharević, Ivan Ljubić i Damir Grubić (JU Park šuma Marjan), Blaženka Ercegovac, Zlatko Huljina iz Hrvatskog šumarskog instituta, Anica Dietz, HNE Eberswalde.

LITERATURA

REFERENCES

- Balanyá, J.; Oller, J. M.; Huey, R. B.; Gilchrist, G. W.; Serra, L. 2006. Global genetic change tracks global climate warming in *Drosophila subobscura*. *Science* 313(5794): 1773–1775.
- Bale, J. S.; Masters, G. J.; Hodkinson, I. D.; Awmack, C.; Bezemer, T. M.; Brown, V. K.; Butterfield, J.; Buse, A.; Coulson, J. C.; Farrar, J.; Good, J. E. G.; Harrington, R.; Hartley, S.; Jones, T. H.; Lindroth, R. L.; Press, M. C.; Symrnioudis, I.; Watt, A. D.; Whittaker, J. B. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8(1): 1–16.
- Battisti, A.; Larsson, S. 2015. Climate change and insect distribution range. *Climate change and insect pests*. Ur. Björkman, C.; Niemelä, P. CABI. Wallingford. 1–16
- Battisti, A.; Stastny, M.; Buffo, E.; Larsson, S. 2006. A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology* 12(4): 662–671.
- Ben Jamaa, M. L.; Lieutier, F.; Yart, A.; Jerraya, A.; Khouja, M. L. 2007. The virulence of phytopathogenic fungi associated with the bark beetles *Tomicus piniperda* and *Orthotomicus erosus* in Tunisia. *Forest Pathology* 37(1): 51–63.
- Bentz, B. J.; Logan, J. A.; Amman, G. D. 1991. Temperature dependent development of the mountain pine beetle (Coleoptera, Scolytidae) and simulation of its phenology. *Canadian Entomologist* 123(5): 1083–1094.
- Bradshaw, W. E.; Holzapfel, C. M. 2006. Evolutionary response to rapid climate change. *Science* 312(5779): 1477–1478.
- Burgermeister, W.; Braasch, H.; Sousa, E.; Penas, A. C.; Mota, M.; Metge, K.; Bravo, M. A. 1999. First report of *Bursaphelenchus xylophilus* in Portugal and in Europe. *Nematology* 1(7): 727–734.
- Carnicer, J.; Coll, M.; Ninyerola, M.; Pons, X.; Sanchez, G.; Penuelas, J. 2011: Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(4): 1474–1478.
- Carroll, A. L.; Shore, T. L.; Safranyik, L. 2006. Direct control: theory and practice. *The mountain pine beetle: A synthesis of biology, management, and impacts on lodgepole pine*. Ur. Safranyik, L.; Wilson, B. Natural Resources Canada – Canadian Forest Service. Victoria. 155–172.
- CCFM 2009. Risk assessment of the threat of mountain pine beetle to Canada's boreal and eastern pine forests, Canadian Council of Forest Ministers, Regina, Kanada. URL: <http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/35406.pdf> (28. 5. 2019.)
- DHMZ 2009. Peto nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) – Izabrana poglavlja: Opažene klimatske promjene u Hrvatskoj, Scenarij klimatskih promjena, Utjecaj klimatskih varijacija i promjena na biljke i na opasnost od šumskih požara, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, Hrvatska. URL: http://klima.hr/razno/publikacije/klimatske_promjene.pdf (28. 5. 2019.)
- DHMZ. URL: <http://meteo.hr/index.php> (28. 5. 2019.)
- Franjević, M.; Pernek, M.; Hrašovec, B. 2012. Bark beetle populations in Croatia during the period 2008–2009 – monitoring data and research observations. *Forstschutz Aktuell* 55: 26–27.
- Hill, J. K.; Griffiths, H. M.; Thomas, C.D. 2011. Climate change and evolutionary adaptations at species' range margins. *Annual Review of Entomology* 56: 143–159.

- Hrašovec, B.; Harapin, M.; Pernek, M. 2011. Entomološki kompleks sredozemnih šuma. *Šume hrvatskog Sredozemlja*. Ur. Matić, S. Akademija šumarskih znanosti. Zagreb. 556–572.
- Hrašovec, B.; Pernek, M.; Matošević, D. 2008. Spruce, Fir and Pine bark beetle outbreak development and Gypsy moth situation in Croatia in 2007. *Forstschutz Aktuell* 44: 12–13.
- Human, Z. R.; Slippers, B.; De Beer, Z. W.; Wingfield, M.; Venter, S. N. 2017. Antifungal actinomycetes associated with the pine bark beetle, *Orthotomicus erosus*, in South Africa. *South African Journal of Science* 113(1-2): 1–7.
- IPCC 2014. Summary for Policymakers, Cambridge University Press, Cambridge, Ujedinjeno Kraljevstvo i New York (New York), Sjedinjene Američke Države. URL: https://www.researchgate.net/publication/272150376_Climate_change_2014_impacts_adaptation_and_vulnerability_-_IPCC_WGII_AR5_summary_for_policymakers (28.5.2019.)
- Jurc, M.; Bojović, S; Fernández, M. F.; Jurc, D. 2012. The attraction of cerambycids and other xylophagous beetles, potential vectors of *Bursaphelenchus xylophilus*, to semio-chemicals in Slovenia. *Phytoparasitica* 40(4): 337–349.
- Kane, J. M.; Kolb, T. E. 2010. Importance of resin ducts in reducing ponderosa pine mortality from bark beetle attack. *Oecologia* 164(3): 601–609.
- Knižek, M.; Beaver R. 2004. Taxonomy and systematics of bark and ambrosia beetles. *Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, A Synthesis*. Ur. Lieutier, F.; Day K. R.; Battisti, A.; Gregoire J. -C.; Evans H. F. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 41–54
- Levitus, S.; Antonov, J.; Boyer, T.; Baranova, O.; Garcia, H.; Locarnini, R.; Mishonov, A.; Reagan, J.; Seidov, D.; Yarosh, E.; Zweng, M. 2017. NCEI ocean heat content, temperature anomalies, salinity anomalies, thermocline sea level anomalies, halosteric sea level anomalies, and total steric sea level anomalies from 1955 to present calculated from in situ oceanographic subsurface profile data (NCEI Accession 0164586). Version 4.4. NOAA National Centers for Environmental Information. Dataset. doi:10.7289/V53F4MVP
- Lieutier, F.; Paine, T. D. 2016. Responses of Mediterranean Forest Phytophagous Insects to Climate Change. *Insects and Diseases of Mediterranean Forest Systems*. Ur. Paine, T.; Lieutier, F. Springer. Basel. 801–858.
- Logan, J. A.; Powell, J. A. 2001. Ghost forests, global warming, and the mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae). *American Entomologist* 47(3): 160–173.
- Malanson, G. P. 2001. Complex response to global change at alpine treeline. *Physical Geography* 22(4): 333–342.
- Mariotti, A. 2010. Recent changes in the Mediterranean water cycle: a pathway toward long-term regional hydroclimatic change? *Journal of Climate* 23(6): 1513–1525.
- Matić, S.; Anić, I.; Oršanić, M. 2005. Uzgojni zahvati u funkciji poboljšanja protuerozijske i vodozaštitne uloge šume. *Šumarski list* 13: 17–30.
- Mendel, Z. 1988. Attraction of *Orthotomicus erosus* and *Pityogenes calcaratus* to a synthetic aggregation pheromone of *Ips typographus*. *Phytoparasitica* 16(2): 109–117.
- Mendel, Z.; Madar, Z.; Golan, Y. 1986. Hymenopterous parasitoids of pine bark beetles in Israel. *Hassadeh* 66: 1899–1901.
- Monitoring strizibuba roda *Monochamus* u svrhu analize rizika prijenosa i širenja dendropatogene nematode *Bursaphelenchus xylophilus* u Park šumi Marjan (2016) – elaborat. Hrvatski šumarski institut. Jastrebarsko
- Naves, P. M.; Sousa, E.; Rodrigues J. M. 2008. Biology of *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera, Cerambycidae) in the pine wilt disease affected zone, Southern Portugal. *Silva lusitana* 16(2): 133–148.

- Økland, B.; Skarpaas, O.; Schroeder, M.; Magnusson, C.; Lindelöw, Å.; Thunes, K. 2010. Is eradication of the pinewood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*) likely? An evaluation of current contingency plans. *Risk Analysis: An International Journal* 30(9): 1424–1439.
- Orthotomicus erosus*. URL: https://fauna-eu.org/cdm_dataportal/taxon/da8a2a12-7cc2-44fb-bfe9-4c81bb9a1796 (28. 5. 2019.).
- Parmesan, C.; Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421(6918): 37–42.
- Pernek, M.; Lacković, N.; Lukić, I.; Zorić, N.; Matošević, D. 2019. Outbreak of *Orthotomicus erosus* (Coleoptera, Curculionidae) on Aleppo Pine in the Mediterranean Region in Croatia. *South-east European Forestry* 10(1) (early view). DOI: <https://doi.org/10.15177/see-for.19-05>
- Pernek, M.; Novak-Agbaba, S.; Lacković, N.; Đođ, N.; Lukić, I.; Wirth, S. 2012. Uloga biotičkih čimbenika u sušenju borova (*Pinus* spp.) na području Sjeverne Dalmacije. *Šumarski list* 7–8: 343–354.
- Pest Alert R5-PR-016 2005. The Mediterranean pine engraver, United States – Department of Agriculture – Forest Service, Davis (California), Sjedinjene Američke Države. URL: http://www.monarthrum.info/pdf_assets/lee%20et%20al%202005_med_pine_engraver.pdf (28. 5. 2019.).
- Pfeffer, A. 1995. Zentral- und westpaläarktische Borken- und Kernkäfer. *Naturhistorisches Museum Basel*. Basel.
- Porter, J. H.; Parry, M. L.; Carter, T. R. 1991. The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. *Agricultural and Forest Meteorology* 57(1–3): 221–240.
- Program gospodarenja za šume s posebnom namjenom - gospodarska jedinica "Park-šuma Marjan" i mjere zaštite i unapređenja ekološkog sustava za park-šumu Marjan – pregled mjera zaštite i sustav monitoringa (2008-2017). *Šumarski fakultet*. Zagreb
- Prpić, B.; Jurjević, P.; Jakovac, H. 2005. Procjene vrijednosti protuerozijske, hidrološke i vodozaštitne uloge šume. *Šumarski list* 13: 186–194.
- Pureswaran, D. S.; Roques, A.; Battisti, A. 2018. Forest insects and climate change. *Current Forestry Reports* 4(2): 35–50.
- Raffa, K. F.; Powell, E. N.; Townsend, P. A. 2013. Temperature-driven range expansion of an irruptive insect heightened by weakly coevolved plant defenses. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(6): 2193–2198.
- Sabadi, R.; Krznar, A.; Jakovac, H. 1988. Koliko društvena zajednica pridonosi održanju i proširenju potencijala općih koristi od šuma? *Šumarski list* 5–6: 255–265.
- Sarikaya, O.; Avici, M. 2010. Distribution and biology of the Mediterranean Pine Shoot Beetle *Tomicus destruens* (Wollaston, 1865) in the Western Mediterranean region of Turkey. *Türkiye Entomoloji Dergisi* 34(3): 289–298.
- Sbabbji, M.; Kadik, B. 2011. Effects of Atlas cedar (*Cedrus atlantica*) defoliation on performance of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*). *Journal of Pest Science* 84(2): 213–217.
- Spaic, I. 1964. Pokusi suzbijanja potkornjaka na alepskom boru metodom prstenovanja. *Šumarski list* 1–2: 226–236.
- Steiner, G.; Buhner E. M. 1934. *Aphelenchoidea xylophilus*, n. sp., a nematode associated with blue-stain and other fungi in timber. *Journal of Agricultural Research* 48(10): 949–951.
- Timbal, J.; Aussenac, G. 1996. An overview of ecology and silviculture of indigenous oaks in France. *Annales des sciences forestieres* 53(2–3): 649–661.

- Umweltbundesamt 2007. Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2, Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH, Potsdam, Savezna Republika Njemačka. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3133.pdf> (28. 5. 2019.)
- UNESCO 1974. Les forêts du pourtour méditerranéaéen, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Pariz, Francuska. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000012110> (28. 5. 2019.)
- Vrdoljak, Ž. 1996. Park-šuma Marjan, razvoj, sadašnje stanje i smjernice za budući tretman. Šumarski list 7–8: 307–318.
- Wilf, P.; Labandeira, C. C. 1999. Response of plant-insect associations to Paleocene-Eocene warming. *Science* 284(5423): 2153–2156.

DIEBACK OF ALEPPO PINE AND OUTBREAK OF BARK BEETLE *ORTHOTOMICUS EROSUS* IN FOREST PARK MARJAN

SUMMARY

The intensive dieback of pine trees on Marjan was observed in 2017, and it probably began in 2016 with dieback of individual Aleppo pine trees. Given the very serious extent and spread of drying of trees in the Forest Park Marjan, the aim of this study is to determine the possible causes of Aleppo pine dieback with the focus on identification of the cause, the age and the thickness of the dead trees, as well as the effect of the climate on this event. In 2017, several infested pine trees were cut down from which samples of symptomatic needles and branches were collected. Samples were marked and transported to the Croatian Forest Research Institute laboratory, where they were incubated and stored for further analysis. The infested material from all parts of the tree has been collected and infestation was recorded. The infested material was incubated in cages at controlled temperature conditions ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) and day and night regime (L : D = 18 : 6). Thus, the emerging insects were collected from the cages, whereupon stored in alcohol or immediately determined. Bark beetles *Orthotomicus erosus* and *Pityogenes calcaratus* emerged from all parts of the trees in the climate chamber. Both species are harmful pests, but more attention here is given to the Mediterranean bark beetle, which is in the gradation phase and probably started to attack healthy trees. In the whole forest area of Marjan sample stripes have been laid out, diagonally throughout each compartment/subcompartment in 2017, 2018 and 2019. To each encountered tree the diameter and height was measured, and a certain category of health condition was determined by visual inspection and using of the binoculars for each pine tree, dividing them into one of the 5 categories of drying stage. The largest number of infested and dried trees are about 25 cm in diameter. In 2017, about 7,500 pine trees were showing symptoms of dieback on Marjan, representing 13% of all trees, and drying continued in the following years, reaching cumulative 17% in 2018 and 23% in 2019. Seasonal deviations of temperature and precipitation in percentile indicate the perennial shift of normal to hotter and drier. Higher temperatures and extreme droughts create cumulative stress on the trees. On the other hand, insects are poikilotherm animals, they react quickly to temperature changes which in species with high biological potential such as some types of bark beetles can lead to rapid population and spatial expansion, i.e. gradation. The observed phenomenon suggests that the cause of the pine trees dieback on Marjan lies in chaining of the several unfavorable factors (drought, the prolongation of vegetation due to climate changes), resulting in the gradation of the bark beetle *O. erosus*. Climate changes enabled a higher number of generations and an increase in population that led to the attack of healthy trees and their drying in groups in 2017, i.e. the gradation of bark beetles. New findings emerged from this research show that the Mediterranean bark beetle first appears in the tree crown and then in the trunk and lower parts of the tree. It is suggested that the lower uninfested parts of the tree are used as trap trees. Gradation of bark beetle *O. erosus* that was observed in this study has never been recorded so far and it is possible that this pest, in case that aridification changes continue, will become a permanent problem in Mediterranean forests.

Key words: *Pinus halepensis*, climate change, aridification, Mediterranean bark beetle