

Razmisleki o požarih, gorivu in upravljanju gozdov v Sloveniji

Thoughts on fire, fuels, and forest management in Slovenia

Eric E. KNAPP¹, Thomas A. NAGEL²



Izvleček:

Požari v naravi so tema, ki v Evropi sproža burne polemike v kontekstu gozdov in njihovega upravljanja. Požar pogosto obravnavamo kot naravno nesrečo, ki povzroča škodo, vendar je v nekaterih gozdnih ekosistemih hkrati tudi naraven proces in pomemben del režima motenj. Dolga zgodovina rabe zemljišč otežuje razumevanje naravne vloge požarov v evropskih gozdovih. Spremembe rabe zemljišč in pretekla gozdnogospodarska praksa so na nekaterih območjih povečale količino goriva in požarno ogroženost. V zadnjem času pa podnebno segrevanje in vse pogostejše ter dolgotrajnejše suše sprožajo vse pogostejše in bolj ekstremne požare oziroma njihovo pojavljanje tudi v mezofilnih gozdnih ekosistemih, ki so slabo prilagojeni na ogenj. Zato je nujno bolje razumeti vlogo požara v številnih evropskih gozdnih ekosistemih, vključno s tem, kako lahko gospodarjenje z gozdom, kadar je to primerno, ogenj uporabimo, namesto da ga gasimo, čeprav je v Sloveniji kurjenje v gozdu trenutno prepovedano z zakonom. Strokovni članek obravnava ključna vprašanja, povezana z ekologijo požarov in upravljanjem gozdov v Sloveniji, nastal pa je kot rezultat izmenjave med Raziskovalno postajo Pacific Southwest, Zavoda za gozdove ZDA (US Forest Service) in strokovnjaki za upravljanje gozdov/požarov v Sloveniji. Prispevek se osredotoča na območji požarišč Goriškega Krasa in Potoške gore ter na druga gozdna območja v Sloveniji. Povzemamo ključne ugotovitve, ki temeljijo na terenskih opazovanjih, strokovnih razpravah in izkušnjah iz požarno ogroženih gozdov Kalifornije. Upamo, da bo to spodbudilo nadaljnjo razpravo in celovitejše razumevanje možnosti za upravljanje požarno ogroženih gozdov v Sloveniji.

Ključne besede: črni bor, bukev, nadzorovan požig, mezofilni gozd, podnebne spremembe

Abstract:

Wildfire is a topic that raises much controversy in the context of forests and forest management in Europe. Fire is often viewed as a natural disaster that is harmful, yet fire is also a natural process and an important component of the disturbance regime in some forest ecosystems. A long history of land use has made it difficult to unravel the natural role of fire in European forests. Land use changes and past forestry practices have also increased fuels and fire hazard in some areas. In recent times a warming and increasingly drought-prone climate are raising concerns that fires are becoming more frequent and extreme, or extending into mesic forest ecosystems that are poorly adapted to fire. There is therefore an urgent need to better understand the role of fire in many European forest ecosystems including how forest management can, when appropriate, work with fire, rather than against it, yet prescribed burning in forests is currently illegal in Slovenia. This professional contribution discusses key issues related to fire ecology and management in Slovenia resulting from an exchange between the U.S. Forest Service Pacific Southwest Research Station and forest/fire management experts in Slovenia. The paper focuses on the Goriški Kras and the Potoška Gora Fire sites, as well as other forest sites in Slovenia. We summarize some key thoughts, based on field observations, discussions, and experience from fire-prone forests of California. We hope this will encourage further discourse and a fuller understanding of management options for fire prone forests in Slovenia.

Key words: Black pine, Beech, prescribed fire, temperate forest, climate change

1 UVOD

1 INTRODUCTION

V številnih gozdovih v svetu so požari pomemben del motenj naravnih procesov in zelo vplivajo na drevesno sestavo, gradbo in delovanje ekosistemov (Bond in Keeley, 2005). Evolucijske in paleoekološke raziskave kažejo, da so požari naraven proces v številnih gozdnih ekosistemih Evrope, saj se pojavljajo že tisočletja (Pausas in

sod., 2008; Bebi in sod., 2017; Kuuluvainen in sod., 2017; Panayotov in sod., 2017). Vendar pa dolga zgodovina intenzivne rabe zemljišč, ki je spremenila naravne gozdne ekosisteme in režime motenj, za mnoge gozdne tipe pogosto otežuje natančno določitev naravnega požarnega režima. V večini evropskih regij požare v naravi gasijo rutinsko, kar pa lahko vodi k večji skupni količini goriva. V zadnjih desetletjih je v Evropi

¹ Raziskovalna postaja Pacific Southwest, Zavod za gozdove ZDA, 3644 Avtech Parkway, Redding, CA 96002, ZDA

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

opazen naraščajoč trend števila velikih, intenzivnih požarov in posledično požarno prizadetih površin (Seidl in sod., 2014; Patacca in sod., 2023), kar je na splošno utrdilo prepričanje, da je požar za številne tipe gozdnih ekosistemov »nenaraven« in »škodljiv« (Pausas in sod., 2008).

Požar je ena najbolj podnebno občutljivih naravnih motenj, zato je pričakovati, da bodo podnebne spremembe povzročile spremembe požarnih režimov. Tako sta na primer segrevanje podnebja in suša povezana z daljšimi sezonami požarov, večjo površino pogorišč in večjo intenzivnostjo gorenja (Jolly in sod., 2015; Westerling, 2016; Collins in sod., 2021). V evropskih gozdovih so podnebne spremembe eden glavnih dejavnikov večje požarne aktivnosti (Seidl in sod., 2014). Posledično obstaja skrb, da bodo v prihodnjih desetletjih podnebne spremembe še povečale obseg škodljivih požarov. Morda je najbolj zaskrbljujoče, da se lahko zaradi nadaljnjih podnebnih sprememb poveča požarna aktivnost tudi v mezofilnih tipih gozdov, ki niso prilagojeni na ogenj, denimo v zmerno toplih gozdovih, ki pokrivajo velik del celine, kjer pogoste vrste, pomembne tako z ekološkega kot gospodarskega vidika (npr. navadna bukev (*Fagus sylvatica*), jelka (*Abies* spp.), navadna smreka (*Picea abies*), javor (*Acer* spp.) ipd.), niso tako ekološko prilagojene, da bi bile sposobne preživetja ali pomlajevanja po požaru (Ewald in sod., 2024).

Zato je nujno bolje razumeti vlogo požara v številnih evropskih gozdnih ekosistemih in možnosti upravljanja za zmanjšanje skupne količine goriva ter požarne ogroženosti. Poleti leta 2024 sta Oddelek za gozdarstvo na Biotehniški fakulteti in Zavod za gozdove Slovenije skupaj gostila Fulbrightovega strokovnjaka dr. Erica E. Knappa, požarnega ekologa na Raziskovalni postaji Pacific Southwest, Zavoda za gozdove ZDA. V Slovenijo smo ga povabili zaradi izmenjave znanja o ekologiji in upravljanju požarov. Med njegovim bivanjem v Sloveniji smo obiskali požarišči Goriški Kras in Potoška gora ter druga gozdna območja v Sloveniji. V prispevku povzemamo ključna razmišljanja, ki temeljijo na terenskih opazovanjih, razpravah in izkušnjah iz požarno ogroženih gozdov Kalifornije. Osredotočili smo se na tri

glavne teme: požar na Krasu, vloga in vzdrževanje protipožarnih posek za obvladovanje požarov ter požar v mezofilnih pretežno bukovih gozdovih. Upamo, da bo to spodbudilo nadaljnjo razpravo in poglobljeno razumevanje možnosti upravljanja požarno ogroženih gozdov v Sloveniji.

2 KRAS

2 KRAS

Na območju Krasa je zdajšnja zgornja drevesna plast sestavljena iz domorodnih hrastov, med katerimi so graden (*Quercus petraea*), puhasti hrast (*Quercus pubescens*) in cer (*Quercus cerris*), ter iz umetno vnesenega črnega bora (*Pinus nigra*). Črni bor je doma v Sredozemlju, vendar na Krasu ni domorodna vrsta; na številnih območjih so ga začeli saditi že pred 150 leti, da bi vzpostavili rastje na zelo erodiranih, kamnitih in degradiranih apnenčastih površinah (Krajnc, 2009). Poleg tega so se uveljavile tudi grmovnice, kot je navadni ruj (*Cotinus coggygria*), ki pa se zdaj težko prebijajo do svetlobe v vse bolj zasenčeni spodnji sestojni plasti. Sencozdržne domorodne vrste, kot sta mali jesen (*Fraxinus ornus*) in črni gaber (*Ostrya carpinifolia*), skupaj z tujerodnimi robinijo (*Robinia pseudoacacia*) in velikim pajesenom (*Ailanthus altissima*), tvorijo gosto, skoraj neprehodno plast srednjega sloja. Blíže tlom pa odmrta lesna biomasa iz propadajočih grmov in drevesnih vej ter odmrta stebela spodnje sestojne plasti, vključno z robido (*Rubus* spp.), belušem (*Asparagus acutifolius*) in šipkom (*Rosa* spp.), v suhem vremenu zlahka omogočajo širjenje ognja. Pogoste domorodne trave, kot sta jesenska vilovina (*Sesleria autumnalis*) in skalna glota (*Brachypodium rupestre*), so prav tako gorivo, ki lahko omogoči površinske požare (Čahojová in sod., 2024). Gostota vegetacije, značilna za termofilne gozdne tipe v južni Evropi, ustvarja izrazito težavo stopničasto razporejenega goriva (Corona in sod., 2015). Na Krasu so težave z gorivom – tako znotraj kot zunaj nasadov črnega bora – deloma posledica opuščanja kmetijske rabe zemljišč (Moreira idr., 2013, 2020) deloma pa pomanjkanja redčenja dreves in upravljanja spodnje sestojne plasti. Zaradi toplejšega in sušnejšega podnebja s pogostejšimi ekstremnimi dogodki (Bedia in sod.,

2014; Dupuy in sod., 2020) tako gorivo pomeni večje požarno tveganje.

Čeprav v gozdovih črnega bora lahko nastanejo vršni požari (slika 1a) in veljajo za posebno požarno ogrožene (Gajšek in sod., 2015), požarne ogroženosti ne ustvarja nujno sama vrsta kot taka, temveč splošna razporeditev goriva v nasadih črnega bora. Črni bor je sicer precej odporen proti požaru (slika 1b) in v svojem naravnem območju razširjenosti izkazuje dolgo življenjsko dobo ter sposobnost preživetja pogostih površinskih požarov majhne intenzivnosti (Fulé in sod., 2008; Nagel in Cerioni, 2023). Vendar pa nasadi črnega bora niso odporni proti požaru, kadar so zelo gosti, enomerni in z obilno podrastjo. Gorivo na površini in v srednji drevesni plasti je pogosto sprožilec vršnega požara (van Wagner, 1977). Površinski požar segreje zgornje sloje krošenj, kar omogoči razvoj vršega požara, kadar je prisotno stopenjsko gorivo in je dovolj velika gostota krošenj. Zato redčenje zgornje drevesne plasti brez obravnave problematike spodnje in srednje sestojne plasti verjetno ne bo bistveno zmanjšalo požarne ogroženosti. V gozdovih črnega bora je ekologija požarov podobna ekologiji zahodnoameriških gozdov rumenega bora (*Pinus ponderosa*), ki so prav tako požarno odporni kot posamezna zrela drevesa, a postanejo občutljivi za uničujoče vršne požare, ko so sestoji pregosti in spodnja sestojna plast ali manjša drevesa ustvarijo gorivne mostove do krošenj večjih dreves (Fitzgerald, 2005). V zahodnem delu ZDA tako stanje pogosto nastane zaradi dolgotrajne odsotnosti požarov majhne intenzivnosti.

2.1 Premena v domorodne listavce

2.1 Conversion to native hardwoods

Čeprav je bila posaditev črnega bora uspešna pri začetni pogozditvi in stabilizaciji tal, se zdaj pojavljajo pobude za premeno nasadov črnega bora v domorodne listavce ali za povečanje deleža listavcev, da bi se izognili težavam z boleznimi in veliki požarni ogroženosti, značilni za čiste, goste sestoje črnega bora (Gajšek in sod., 2015; Diaci in sod., 2019). Na območju Krasa so požari verjetnejši v sestojih, kjer prevladujejo iglavci kot v gozdovih z večjim deležem listavcev (Šturm in

Podobnikar, 2017). Zaradi bolj odprtih krošenj so domorodne vrste listavcev, zlasti hrasti, praviloma manj gorljive kot iglavci v tipični gosti zasaditvi (Bergmeier in sod., 2021). Za razliko od črnega bora se številne domorodne vrste listavcev, vključno s hrasti, obrastejo iz koreninskega vratu, če je deblo poškodovano ali uničeno v požaru (Bergmeier in sod., 2021; Trotta in sod., 2024). To omogoča hitrejša okrevanje zgornje drevesne plasti po požaru velike intenzivnosti, ne da bi bila potrebna ponovna zasaditev. Če pa je cilj ohraniti gozd, kjer lahko drevesna debela preživijo požar, samo zamenjava črnega bora z domorodnimi listavci, vključno s hrasti, morda ne bo dovolj. Glede na trenutno stanje goriva v spodnji sestojni plasti je lahko količina toplote, ki jo ustvari požar (četudi ostane površinski in ne preide v vršnega), dovolj velika, da uniči vsa debela ne glede na drevesno vrsto (Slika 1c). Zato bo za ohranjanje odpornosti zgornje drevesne plasti verjetno potrebno tudi zmanjševanje količine goriva v spodnji sestojni plasti ne glede na to, ali gozd sestavlja črni bor ali domorodni listavci, kot je hrast.

2.2 Zmanjševanje požarne ogroženosti v spodnji sestojni plasti: možne koristi preventivnega nadzorovanega požiga

2.2 Mitigating the understory fire hazard: Possible benefits of prescribed fire

Ena od možnih metod za zmanjšanje verjetnosti požara v spodnji sestojni plasti, ko drugi gozdno-gojitveni ukrepi niso učinkoviti, je preventivni nadzorovani požig. Nadzorovani požigi so manj intenzivni kot naravni požari, saj potekajo v milejših vremenskih razmerah in omogočajo nadzor nad smerjo širjenja ognja glede na topografijo in veter. Tako lahko požig, na primer, usmerimo od višje ležečih predelov proti nižjim ali proti vetru namesto v smeri vetra.

V Sloveniji namerni (nadzorovani) požigi še niso splošno uveljavljeni in so po slovenski zakonodaji v gozdovih prepovedani, vendar so bili omenjeni kot ena izmed možnosti za Kras bodisi za obvladovanje vegetacije v spodnji sestojni plasti (Vochl in sod., 2013; Jereb in Turk, 2014) bodisi za izboljšanje habitatov ptic (de Groot in Bordjan, 2007). Nadzorovani požigi bi bili lahko

precej cenejši od drugih metod upravljanja spodnje sestojne plasti in bi na Krasu lahko koristili, če: 1) so večja drevesa vrst, ki jih želimo ohraniti, dovolj odporna proti ognju, in 2) nadzorovani požig dovolj zmanjša količino goriva v spodnji sestojni plasti, da zmanjša požarno ogroženost. Dokazi z območja Goriškega Krasa in drugih minulih požarišč pa tudi iz nadzorovanih požigov v sredozemskih gozdovih drugod nakazujejo, da je oboje mogoče doseči.

2.2.1 Odpornost vrst v zgornji drevesni plasti proti požaru

2.2.1 Fire resistance of overstory tree species

Večja debela domorodnih listavcev in nasajenega črnega bora lahko preživijo požare manjše intenzivnosti, kar dokazujejo različni učinki požara iz leta 2022 na Goriškem Krasu, opisani v začetni popožarni oceni (Košček in sod., 2023) in kasnejših študijah (Čahojová in sod., 2024; Trotta in sod., 2024). Med našim ogledom poleti leta 2024 smo opazili preživela drevesa (z ožgano skorjo v spodnjem delu debla) na nekaterih območjih, kjer je bila pred požarom gostota dreves in spodnje sestojne plasti podobno velika kot v bližnjem gozdu, kjer so bila uničena vsa debela (sliki 1b, 1c). Kjer dreves v zgornji plasti ni uničil požar, je mogoče, da so bile vremenske razmere manj ekstremne (npr. nižja hitrost vetra, gorenje ponoči ipd.) ali pa se požar ni širil v skladu s pričakovanji glede na topografijo.

Med domorodnimi listavci je puhasti hrast najbolj odporen proti uničenju krošnje (Trotta idr., 2024). Preživetje nekaterih črnih borov ni presenetljivo, saj so bili v preteklosti požari pogosti tudi na območjih, kjer je črni bor domoroden (Fulé in sod., 2008). Relativno debela skorja črnega bora nudi dobro toplotno izolacijo in zaščito debla pred poškodbami pri nadzorovanih požigih (Fernandes in sod., 2012; Ferrat in sod., 2021).

Čeprav je bila po požaru na Goriškem Krasu smrtnost dreves precejšnja, je pri požarih manjše intenzivnosti lahko precej veliko preživetje zgornje drevesne plasti pri listavcih in črnem boru. Stančič in Repe (2018) sta analizirala stanje enajst mesecev in pet let po dveh manjših (~ 2 ha) požarih pri Sežani ter ugotovila, da je preživela večina

zgornje drevesne plasti (pretežno mali jesen in graden na enem območju ter pretežno črni bor na drugem). Eden od požarov je bil sredi aprila, drugi konec julija. Čeprav o razmerah ob požaru ni bilo podatkov, majhna velikost požarišč nakazuje, da razmere niso bile ekstremne in da ni bilo močnega vetra, kar je bližje razmeram, v kakršnih bi potekal nadzorovani požig. Požar z majhno do zmerno intenzivnostjo (morda z intenzivnostjo neke vmes med požaroma, ki sta jih proučevala Stančič in Repe (2018) in požarom na Goriškem Krasu) bi lahko imel še dodatno prednost, saj bi spodbujal selekcijo vrst hrasta, ki so odpornejše proti ognju kot drugi listavci (Trotta in sod., 2024).

2.2.2 Ali lahko preventivni nadzorovani požig zmanjša težavo z gorivom?

2.2.2 Can prescribed fire mitigate the fuel issue?

V drugih sredozemskih regijah se za nadzorovane požige odločajo za obvladovanje goriva v gozdovih črnega bora (Piqué in Domènech, 2018) in v mešanih gozdovih črnega bora in hrasta (Casals in sod., 2016). Čeprav so to pomembni podatki, je v Sloveniji sestava spodnje sestojne plasti verjetno drugačna, zato ni celovitih podatkov o odzivu vegetacije na nadzorovane požige na Krasu. Opazovanja po naravnih požarih nakazujejo, da bi bilo z namernim požigom mogoče doseči koristi glede zmanjšanja količine goriva. V opisanih manjših požarih pri Sežani sta Stančič in Repe (2018) tudi količinsko ovrednotila vegetacijsko sestavo spodnje sestojne plasti in jo primerjala z bližnjimi neprizadetimi območji. Ugotovila sta, da je bil pokrov grmovne plasti znotraj požarišča le 5 %, v bližnjem nepožganem gozdu pa 30 %. To nakazuje, da bi v Sloveniji lahko nadzorovani požigi koristili pri obvladovanju grmovne plasti na enak način in za enake namene, kot to velja v drugih sredozemskih državah. Rezultati prav tako kažejo, da je lahko zaviranje ponovne rasti grmov precej dolgotrajno in traja pet ali več let po požaru s pogojem, da krošnje ostanejo ohranjene. Preventivni nadzorovani požigi lahko zmanjšajo gostote nezaželenih, tujerodnih in invazivnih drevesnih in grmovnih vrst. Ker se lahko zmanjšajo tudi gostote domorodnih drevesnih vrst,

ki jih želimo pospeševati in so pomembne za doseganje dolgoročnih gozdnogojitvenih ciljev, moramo preventivne nadzorovane požige primerno časovno načrtovati.

Trenutna struktura zgornje drevesne plasti in srednje ter spodnje sestoje plasti se je verjetno uveljavila in razvila v razmerah večje osončenosti, kar je povzročilo bujno začetno rast dreves in grmovnic. Ko je vegetacija dozorela, so drevesa prerasla podrast in začela senčiti grmovnice, kar je povzročilo delno odmiranje, konverzijo živih debel v mrtev lesni material in posledično povečalo požarno ogroženost. Če bi požar nastal tedaj in bi gorel z majhno intenzivnostjo, ki ne uniči debel zgodnje drevesne plasti, bi lahko zasenčenost bistveno upočasnila popožarno rast podrasti in s tem nastajanje goriva (Casals in sod., 2016; Piqué in Domènech, 2018).

Kot navajata Piqué in Domènech (2018), bi bilo potencialno koristno proučiti rastni odziv različnih podrastnih vrst v različnih razmerah pokrovnosti, s čimer bi lahko bolje napovedali dolgotrajnost takšnega zatiranja rasti grmovnic in druge podrasti. Casals et al. (2016) so zabeležili bistveno manj grmovnic pod krošnjami črnega bora na rastiščih, ki so bila požgana osem ali devet let prej. Koristno bi bilo tudi razumeti relativno vnetljivost različnih podrastnih vrst in hitrost nastajanja goriva v različnih razmerah pokrovnosti.

Na zemljiščih v ZDA, ki jih upravlja Zavod za gozdove ZDA, pred nadzorovanim požigom pogosto redčijo zgornje drevesne plasti. To sicer ni pogoj; v ameriških nacionalnih parkih, kjer po navadi ne redčijo, se za zmanjšanje količine goriva in redčenje gozda uspešno odločajo zgolj za nadzorovane požige (van Mantgem in sod., 2016). Vendar pa je lahko v prej razredčenem gozdu lažja uporaba nadzorovanega požiga. V slovenskih gozdovih je potencialni stranski učinek redčenja tudi delna kompresija spodnje podrasti. V gozdovih, kjer so bolj malo gospodarili s podrastjo, je lahko otežen dostop za nadzorovano požiganje. Eno izmed orodij, ki ga na zahodu ZDA uporabljajo za zmanjšanje podrastne vegetacije, je mehansko mulčenje žive in odmrle vegetacije z gozdarskim mulčerjem (glej: [https://www.](https://www.fs.usda.gov/forestmanagement/equipment-catalog/mulchers.shtml)

[fs.usda.gov/forestmanagement/equipment-catalog/mulchers.shtml](https://www.fs.usda.gov/forestmanagement/equipment-catalog/mulchers.shtml)). Čeprav je drago, lahko mulčenje izboljša dostop za zatiranje požarov in za nadzorovane požige, hkrati pa mlada drevesa osvobodi konkurence v podrasti. Včasih je mulčenje kot samostojna metoda in čeprav kompresija gorljivega materiala teoretično upočasnjuje širjenje ognja, je poglavitni namen sprememba živega goriva v odmrlo gorivo, s čimer se celotna količina goriva ne zmanjša. Čas gorenja in škoda na preostalih drevesih, ki jih upravljavci želijo ohraniti, sta tako lahko precejšnja, četudi ogenj ne seže tako visoko (Knapp in sod., 2011). Najboljše rezultate dosežemo, če mulčenju sledi nadzorovani požig, ki takoj zmanjša količino odmrlega goriva na gozdnih tleh. Druga metoda zatiranja podrasti, ki je v Sloveniji tudi prepovedana z zakonom, je paša kopitarjev, a v tem primeru bi bilo izziv zagotoviti vraščanje domorodnih vrst hrasta (Diaci in sod., 2019). Ne glede na izbiro metode so za optimalno ravnovesje med vraščanjem zaželenih drevesnih vrst in zatiranjem podrasti potrebne dodatne raziskave in testiranje. Če predpožarno zatiranje podrastne vegetacije ni izvedljivo in je požiganje goste podrastne vegetacije mogoče izvesti varno, obstaja relativno nov način požiga težko dostopnih območij, in sicer nadzorovan požig s pomočjo brezpilotnih letalnikov (glej: <https://www.youtube.com/watch?v=7AVotlkYEnU>).

3 PROTIPOŽARNE POSEKE

3 FUEL BREAKS

Protipožarna poseka je linearna sprememba goriva, zasnovana tako, da zmanjša intenzivnost ognja na požarni liniji in poveča možnost za uspešno gašenje požara. Med požari na Goriškem Krasu julija in avgusta 2022 so pred sprednjim robom požara posekali drevesa in očistili vegetacijo ob cestah, s čimer so ustvarili protipožarne poseke. To je gasilcem omogočilo, da so požar začeli gasiti z obcestnih položajev in najverjetneje omejili širjenje ognja na nekaterih območjih (Košiček in sod., 2023). Vendar pa je bil velik izziv hitro odstranjevanje velike količine sveže posekane vegetacije (Košiček in sod., 2023; J. Saražin, osebna komunikacija). Ko so posekali

živo vegetacijo, se je začela sušiti in če je niso v celoti odstranili pred prihodom požara, so listi in manjše veje lahko celo povečali požarno ogroženost (Košiček in sod., 2023).

Dve leti po požaru so obcestne protipožarne poseke preraščene z gosto mlado vegetacijo (slika 1d). Na neposredni sončni svetlobi bo verjetno hitro rasla, zato brez dodatnih vlaganj v kratkem času ne bo več imela protipožarnih lastnosti.

Ena od možnih prilagoditev strategije protipožarnih posek bi bila večje poudarjanje odstranjevanja vegetacije spodnje in srednje sestoje plasti ob ohranjanju večjega dela zgornje drevesne plasti. Tak pristop bi se osredotočil na glavne gorivne plasti, ki prenašajo ogenj po površini, hkrati pa bi nastala prekinitev med talnimi in vršnimi gorivi ter tako omejila širjenje ognja v krošnje. Ohranjanje vsaj dela dreves v zgornji drevesni plasti bi zmanjšalo količino materiala, ki ga je treba posekati, predelati in odstraniti, najverjetneje brez večjega vpliva na učinkovitost protipožarne poseke. V drugih požarno ogroženih gozdnih regijah so t. i. senčne protipožarne poseke, kjer se del krošenj ohrani, pogosta strategija pri upravljanju požarov v naravi (Agee in sod., 2000). Pri senčnih protipožarnih posekah je poudarek namenjen spreminjanju goriva bližje tlom, hkrati pa se poveča višina do prve žive krošnje in zmanjša gostota preostalih dreves v zgornji drevesni plasti. Poleg redčenja dreves v zgornji drevesni plasti zaradi preprečevanja vršnega širjenja požara lahko sekamo in odstranjujemo vegetacijo, sušice in podrtice oziroma jih sežigamo na kupu ter mulčimo oziroma stiskamo grmovnice in gorivo z mulčerjem ali drugo mehanizacijo (s čimer zmanjšamo višino plamena in upočasnimo hitrost širjenja ognja). Ustrezna razdalja med osebki v zgornji drevesni plasti ne bi pomembno ovirala vnosa vode med požarom.

Senčne protipožarne preseke, kjer se ohranijo osebki v zgornji drevesni plasti, bi imele še dodatno korist, saj bi lahko upočasnile ponovno rast goste spodnje sestoje plasti. Čeprav so odnosi med zgornjo drevesno plastjo in spodnjo sestojno plastjo kompleksni in jih ne razumemo povsem, lahko prisotnost zgornje drevesne plasti zavira rast vegetacije zaradi tekmovanja za svetlobo, vlago in

druge dejavnike (Agee in sod., 2000; Mackenzie in sod., 2000; Balandier in sod., 2022). To bi lahko zmanjšalo stroške vzdrževanja in izboljšalo trajnost protipožarnih posek. Vnaprejšnja vlaganja v protipožarne poseke, še pred izbruhom požara, bi omogočila bolj ciljno usmerjeno odstranjevanje oziroma ohranjanje glede na predpisano gostoto krošenj ali z vidika gorljivosti dale prednost manj problematičnim vrstam.

Za pripravo pravil za senčne protipožarne poseke bi bilo koristno bolje razumeti specifične odnose med svetlobnimi razmerami v zgornji drevesni plasti in rastjo prevladujočih vrst v spodnji sestojni plasti. To bi upravljavcem omogočilo določitev ciljnih vrednosti gostote krošenj za uravnoteženje koristi zatiranja rasti z izboljšanjem razmer za gašenje in napovedovanje trajanja učinka zmanjšanja količine goriva pred potrebo po ponovnem ukrepanju. Poleg tega niso vse vrste v spodnji sestojni plasti enake: nekatere imajo gostejše krošnje, so bolj vnetljive ali ustvarjajo večje količine odmrlega goriva na površini kot druge. Vsak poseg v vegetacijo, od ustvarjanja do vzdrževanja protipožarnih posek, daje upravljavcem možnost, da spodbujajo manj gorljive vrste in omejujejo najbolj gorljive.

Eden najpogostejših vzrokov, da relativno ozke protipožarne poseke ne ustavijo požara, je širjenje ognja z iskrami na daljše razdalje. Na zahodu ZDA protipožarne preseke pogosto uporabljajo kot izhodišče za izvedbo protipožarnih požigov med gašenjem. Odstranjevanje goriva med obcestno protipožarno poseko in fronto požara z nadzorovanim požiganjem med požarom lahko poveča globino območja, kjer gorenje ni več mogoče, in zmanjša verjetnost, da bi ogenj zaradi isker preskočil protipožarno poseko. Posredne taktike, torej uporaba požiga za boj proti požaru, v Sloveniji očitno niso pogoste, a bi bile lahko koristno orodje. Poleg tega bi kombinacija senčnih protipožarnih posek z upravljanjem goriva tudi zunaj omenjenih pasov lahko ublažila širjenje ognja na širšem območju, zmanjšala nastajanje isker in izboljšala učinkovitost protipožarnih posek (Agee in sod., 2000).

4 MEŠANI GOZDOVI ZMERNEGA PASU

4 TEMPERATE MIXED FORESTS

Mešani gozdovi predalpskega zmerne pasu (vključno z notranjostjo Slovenije), kjer prevladuje domorodna navadna bukev in kjer so ponekod primešane smreka, jelka in druge vrste listavcev, so po navadi gosti z zelo velikim deležem sklenjenih krošenj. V nasprotju z gozdovi na Krasu gosta senca zgornje drevesne plasti zelo omejuje količino vegetacije v spodnji sestojni plasti, pri čemer se pomlajevanje večinoma pojavlja le v vrzelih, ki nastanejo zaradi naravnih motenj ali sečnje (Nagel in sod., 2014). Glavno gorivo, ki omogoča širjenje požara, je opad. V območjih, ki so jih prizadeli vetrolomi ali žled, so lahko tudi podrhtice ali veje (Nagel in sod., 2016), vendar je skupna količina goriva praviloma majhna, senčenje in vlažnost pa prispevata k slabi gorljivosti večji del leta (slika 2b). Razmere, ki omogočajo širjenje požarov, so razmeroma redke in se pojavljajo predvsem v obdobjih brez padavin pozimi in zgodaj spomladi, preden listavci olistajo, zlasti ob fenu in nizki relativni zračni vlagi, ali pa poleti med vročim in suhim vremenom (Conedera in sod., 2018). Večina požarov je površinskih in jih povzroči človek (Maringer in sod., 2016).

4.1 Sukcesija gozda z ognjem

4.1 Forest succession with fire

Navadna bukev ima tanko skorjo in je zelo občutljiva za ogenj. Na območjih, kjer se požar hitro širi, lahko toplota površinskega požara ne le poškoduje deblo, ampak obžge tudi krošnjo in povzroči uničenje sestoja (Maringer in sod., 2016). Požari večje intenzivnosti pogosto izbruhnejo na nižjih nadmorskih višinah, kjer se ogenj ob vzpenjanju po strmih pobočjih ali skozi grape (slika 2a) zelo okrepi, čeprav je goriva malo in ga sestavlja pretežno opad (Conedera in sod., 2023). Če se požar širi počasneje in poškodbe dreves niso velike, je začetna intenzivnost lahko majhna do zmerna. Vendar pa požar povzroči lupljenje tanke skorje, kar omogoči vdor gliv, ki postopoma oslabijo drevo in povzročijo zamaknjeno odmiranje v naslednjih letih ali desetletjih (Ascoli in sod., 2013; Maringer in sod., 2016) (slika 2c). V vmesnem času

lahko oslabljen drevesa še vedno tvorijo semena (Ascoli in sod., 2013). Raziskave so pokazale, da je pomlajevanja bukve najuspešnejše na območjih zmerne intenzivnosti požara (v primerjavi z nepožganimi ali zelo požganimi območji) zaradi kombinacije razpoložljivih semen, večje svetlobe zaradi razprtja strehe sestoja, izpostavljenih tal in zmanjšane podpovršinske konkurence (Ascoli in sod., 2015; Maringer in sod., 2020).

Ker požar uniči že obstoječi pomladek in odrasla drevesa, je obnova po požaru velike intenzivnosti počasnejša kot po drugih motnjah, kot sta vetrolom ali napad podlubnikov (Cerioni in sod., 2024). Obnovo lahko dodatno upočasnijo sanitarna sečnja dreves, ki bi lahko še tvorila semena, preden bi odmrli. V požaru na Potoški gori marca 2022 je bil velik del gozda znotraj požarišča posekan v obdobju od aprila leta 2022 do aprila leta 2023, ko so odstranili tako odmrli kot tudi poškodovana drevesa (slika 2a) (Rozman in sod., 2024). Pri popožarnem gospodarjenju ima vrednost lesa pogosto prednost pred težje merljivimi ekološkimi koristmi, ki bi jih poškodovana drevesa lahko nudila dolgoročno, na primer kot vir semen (Ascoli, 2013), senca za zmanjšanje toplotne obremenitve mladih dreves (Marangon in sod., 2022; Swanson in sod., 2023) ali habitat v odmrlem lesu za divje živali (Thorn in sod., 2020; Ucitel in sod., 2003). Podobno je v ZDA, kjer na zasebnih gozdovih, kjer prevladujejo iglavci, po navadi hitro odstranijo tako odmrli drevesa kot tista, ki so poškodovana in za katere je velika verjetnost, da bodo kmalu odmrli. V državnih gozdovih pod okriljem Zavoda za gozdove ZDA je sanitarna sečnja počasnejša, saj je pred posegi potrebna okoljska presoja, do takrat pa lahko les že izgubi tržno vrednost. Zato pogosto posekajo le del načrtovanih površin. Pri sanitarni sečnji drevesa, ki bodo glede na modele smrtnosti zaradi požarnih poškodb zelo verjetno kratkoročno odmrli (Hood in Lutes, 2017), odstranijo skupaj z odmrli drevesi. Ker so požarno prizadete vse večje površine, in to z intenzivnostjo, pri kateri nastane zamenjava celotnega sestoja. Zavod za gozdove ZDA ne more zadostiti povpraševanju po pridelavi gozdnih sadik in pogozdovanju (Dobrowski in sod., 2024). Če je cilj obnova gozda,

vendar pa je pogozdovanje malo verjetno, ima vsako seme, ki ga proizvede poškodovano oziroma odmirajoče drevo, dodatno ekološko vrednost.

Če v pretežno bukovih gozdovih sanitarno sečnjo opravimo takoj po požaru, brez vira semen in brez ponovne zasaditve, je nadaljnja sukcesijska pot gozda negotova. Bukova semena so razmeroma težka in se le redko razširijo dlje kot 125 metrov od matičnega drevesa (Wagner in sod., 2010). Če so na Potoški gori poškodovana drevesa tvorila semena v letu 2022, preden so jih posekali, je mogoče, da se je pomladek že uveljavil. Če ne, je mogoč rezultat, da bodo gozd začasno nadomestile druge vrste. Dolgoročno spremljanje omenjenega območja in podobnih območij popožarne sanitarne sečnje bi bilo dragoceno. Če je cilj obnoviti bukev in se izogniti stroškom ponovne zasaditve, bi lahko prihodnje sanitarne sečnje načrtovali tako, da bi ohranili določen delež poškodovanih dreves kot semenjakov ali pa bi posek časovno prilagodili letom po bogatem obrodju (Ascoli in sod., 2013). A glede na požarno občutljivost bukovih gozdov so čisti bukovi sestoji v zreli fazi lahko tudi posledica splošnega zmanjšanja požarov oziroma motenj nasploh. Če je cilj povečati vrstno pestrost gozda, bi bil lahko eden redkih pozitivnih učinkov, da sanitarna sečnja zavira obnovo bukve in omogoča uveljavitev drugih vrst (van Gils in sod., 2010; Thom in sod., 2017).

4.2 Vpliv orientacije na vlažnost goriva in širjenje požara

4.2 Role of aspect on fuel moisture and fire spread

Vsebnost vlage v drobnem gorivu je odvisna od številnih dejavnikov, med drugim od temperature površine, padavin, relativne zračne vlage in vlažnosti tal (Matthews, 2006). Razlike v vlažnosti goriva so še posebno izrazite v topografsko razgibanih pokrajinah (Holden in Jolly, 2011), pri čemer je poglavitni dejavnik količina sončnega obsevanja, ki doseže opad (Nyman in sod., 2015). Na vsebnost vlage v drobnem gorivu vpliva tudi kakovost opada, ki je odvisna od vrste vegetacije, ki pa se lahko razlikuje glede na orientacijo (Nyman in sod., 2015) in kapilarni dvig vlage iz tal v plast humusa ter spodnje sloje opada (Hatton in sod.,

1988). Med drugimi topografskimi dejavniki, ki povzročajo razlike v vlažnosti, so temperaturne inverzije, pri katerih so v dolinah pogosto nižje temperature in višja relativna vlaga (Schunk in sod., 2013). Takšne razlike lahko pomembno vplivajo na razpoložljivost goriva in širjenje požara na ravni krajine (Holden in Jolly, 2011; Nyman in sod., 2015), zlasti v določenih delih leta.

Kot pri številnih požarih, ki v predalpskem svetu izbruhnejo v sušnih obdobjih pozimi ali spomladi, je tudi požar na Potoški gori marca 2022 gorel v času, ko so bile verjetno precej izrazite razlike v sončnem obsevanju tal med orientacijami. Požar je zajel predvsem strma južna pobočja, ponekod pa tudi bolj vzhodno in zahodno obrnjene mikrolege v grapah. Na višjih zemljepisnih širinah severna pobočja v tistem času leta zaradi nizkega kota sonca prejmejo malo ali nič neposredne sončne svetlobe. Razlike med orientacijami so bile verjetno še dodatno poudarjene zaradi fenološkega stanja vegetacije, saj listavci še niso biliolistani. Ko se olistajo, so tla v gozdu namreč zelo zasenčena na vseh legah, zato se zmanjšajo razlike v sončnem obsevanju, ki doseže sloj opada. Razlike v vlažnosti goriva zaradi orientacije ali zastora so največje v fazi sušenja in manjše po padavinah, ko je gorivo enakomerno vlažno, ter med dolgotrajnimi sušami, ko se gorivo na vseh orientacijah in ob različnih stopnjah senčenja dovolj izsuši, da omogoča širjenje ognja (Schunk in sod., 2017). Čeprav se opad ob nizki relativni vlagi hitro suši, se hkrati vlaga kapilarno dviga iz tal (Hatton in sod., 1988). Gorivo nad bolj vlažnimi tlemi bo verjetneje vsebovalo količino vlage nad pragom, pri katerem gorenje ni več mogoče, zato se ogenj ne more razviti. Ko se relativna vlaga ponovno poveča, na primer ponoči, se tak prag lahko doseže hitreje na območjih z bolj vlažnimi tlemi.

Boljše razumevanje praga vlage, pri katerem gorenje ni več mogoče, za različne vrste goriva v opadu in topografskih dejavnikov, ki vplivajo na vlažnost goriva, bi lahko pomagalo pri odločanju v požarnem upravljanju (Holden in Jolly, 2011; Little in sod., 2024). Natančnejša prostorska opredelitev požarne ogroženosti v razgibanih pokrajinah bi izboljšala napovedovanje, kje se bo

požar najverjetneje širil in kako hitro, kar bi lahko pripomoglo k zmanjšanju tveganja za gasilce in manjšim stroškom gašenja. To bi bilo najkoristnejše za požare, ki gorijo pozno pozimi ali zgodaj spomladi, ko so zaradi topografije največje razlike v vlažnosti goriva. Četudi se požar lahko razširi po vseh orientacijah v drobnem gorivu opada, ki je na voljo, so lahko spodnje plasti srednje velikega goriva še vedno vlažne na območjih, ki so manj osončena, kar lahko zmanjša količino goriva, ki je na voljo za gorenje, in ublaži učinek požara. Potencialno bi bila dragocena tudi priprava prostorske požarne statistike s primerjavami med letnimi časi, topografskimi položaji in vrstami gozdov, podobna analizi, ki so jo za južno Švico pripravili Pezzatti idr. (2009).

5 SKLEPNE MISLI

5 CONCLUDING THOUGHTS

Čeprav so med Slovenijo in zahodnim delom ZDA precejšnje razlike glede vegetacije in podnebja, se obe regiji soočata s skupnim izzivom prilagajanja vegetacije sedanjim in prihodnjim požarnim razmeram. Požar je fizični proces, pri katerem enaki univerzalni dejavniki, torej vreme, topografija in gorivo (t. i. »trikotnik požarnega vedenja«), določajo njegovo obnašanje ne glede na celino. Zato obstajajo določene skupne lastnosti, ki pa jih je treba obravnavati z lokalnimi posebnostmi. Pri gozdnogospodarskem načrtovanju upravljavci najbolj vplivajo prav na gorivo, zato je želene rezultate pogosto najlažje doseči s spremembami v masi, razporeditvi ali gorljivosti goriva.

Pri upravljanju gozdov zmanjševanje goriva pogosto obravnavamo od zgoraj navzdol, od krošenj proti tlom. Vendar hitrost širjenja požara po površini, vedenje vršnih požarov in posledice za drevesa pogosto v največji meri (čeprav ne izključno) določa upravljanje goriva na tleh, ki je glavni nosilec ognja. Ne glede na to, ali gre za Kalifornijo ali Slovenijo, gre torej za opad, odmrlo travo in spodnje sestojne plasti, ki jih je žal tudi najtežje upravljati, saj naložbe pogosto nimajo takojšnjega finančnega donosa. Na Krasu je eden ključnih izzivov reševanje »problema požarov v naravi« gosta spodnja sestojna plast in nako-pičeno gorivo v njej. Spodnja sestojna plast in

zgornja drevesna plast sta povezani z različnimi povratnimi vplivi, denimo z vplivom senčenja na rast rastlin, ki lahko postanejo gorivo. Redčenje pregoste zgornje drevesne plasti je učinkovito v številnih najbolj požarno ogroženih gozdnih sistemih. Na različnih celinah med dodatne strategije za zmanjšanje požarne ogroženosti spada tudi spodbujanje požarno odpornejših vrst in vrst, ki so manj gorljive ali manj nagnjene k tvorjenju velikih količin zelo gorljivega materiala.

Kjer je vegetacija, vključno z drevesi, slabo prilagojena na požar in je glavni cilj preprečiti vsakršno gorenje, lahko boljše razumevanje topografskih in vegetacijskih dejavnikov gorljivosti pomaga pri odzivu gasilcev. Ker bodo v okolju, kjer sobivata človek in vegetacija, vedno nastajali vžigi, lahko poznavanje dejavnikov, ki omejujejo obnovo gozda, bodisi zaradi pomanjkanja semenskega vira bodisi zaradi slabih razmer za naravno pomlajevanje, usmerja in prilagaja upravljalvske ukrepe (Cerioni in sod., 2024). Poleg upravljalvskih ukrepov pa mora stroka skrbeti tudi za obveščanje, izobraževanje in komunikacijo z javnostmi.

Sodobni požari pomenijo nove izzive. Države, kot je Slovenija, kjer se je število požarov začelo povečevati šele nedavno, se lahko veliko naučijo od upravljavcev v sušnejših delih Sredozemlja (npr. Castellnou in sod., 2010), v Avstraliji ali v požarno ogroženih območjih zahodnega dela ZDA, kjer se s takimi izzivi soočajo že dalj časa. Za Kras bi bile v prihodnosti posebno dragocene izmenjave s strokovnjaki za gozdnogospodarsko upravljanje iz naravnega območja razširjenosti črnega bora, ki bi lahko ponudili vpogled v morebitne koristi in načine uporabe nadzorovanega požiga za upravljanje take vegetacije. Če bi slovenski gozdarski strokovnjaki želeli poslati delegacijo v Kalifornijo, se sam (E. Knapp) in drugi iz gozdnogospodarske stroke z veseljem ponudimo za vodenje.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENTS

Zahvaljujemo se Univerzi v Ljubljani, Biotehniški fakulteti, Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, akademskemu zboru in podiplomskim študentom, s katerimi smo se pogovarjali na fakulteti ali na terenu, ter osebju Zavoda za

gozdove Slovenije (Tomaž Polajnar, Aleš Poljanec, Andreja Nève Repe, OE Sežana: Matej Kravanja, Boštjan Košiček) in Gozdarskega inštituta Slovenije (Jaša Saražin), ki so gostili terenski ogled obeh požarišč ali so se z nami srečali med obiskom dr. Knappa v Sloveniji. Pri izmenjavi je pomagalo tudi veleposlaništvo ZDA v Sloveniji. Zahvaljujemo se tudi Sebastijanu Mačku za prevod besedila.

7 LITERATURA

7 LITERATURE CITED

- Agee, J. K., Bahro, B., Finney, M. A., Omi, P. N., Sapsis, D. B., Skinner, C. N., van Wagtenonk, J. W., Weatherspoon, C. P. 2000. The use of shaded fuelbreaks in landscape fire management. *Forest Ecology and Management*, 127: 55–66.
- Ascoli, D., Castagneri, D., Valsecchi, C., Conedera, M., Bovio, G. 2013. Post-fire restoration of beech stands in the Southern Alps by natural regeneration. *Ecological Engineering*, 54: 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.032>
- Ascoli, D., Vacchiano, G., Maringer, J., Bovio, G., Conedera, M. 2015. The synchronicity of masting and intermediate severity fire effects favors beech recruitment. *Forest Ecology and Management*, 353: 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.031>
- Balandier, P., Mârell, A., Prévosto, B., Vincenot, L. 2022. Tamm review: Forest understorey and overstorey interactions: So much more than just light interception by trees. *Forest Ecology and Management*, 526: 120584. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120584>
- Bebi P., Seidl R., Motta R., Fuhr M., Firm D., Krumm F., Conedera M., Ginzler C., Wohlgemuth T., Kulakowski D. 2017. Changes of forest cover and disturbance regimes in the mountain forests of the Alps. *FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT*, 388: 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.028>
- Bedia, J., Herrera, S., Camia, A., Moreno, J. M., Gutiérrez, J. M. 2014. Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios. *Climatic Change*, 122, 1: 185–199. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1005-z>
- Bergmeier, E., Capelo, J., Di Pietro, R., Guarino, R., Kavgaci, A., Loidi, J., Tsiropidis, I., Xystrakis, F. 2021. 'Back to the Future'—Oak wood-pasture for wildfire prevention in the Mediterranean. *Plant Sociology*, 58, 2: 41–48. <https://doi.org/10.3897/pls2021582/04>
- Bond, W. J., Keeley, J. E. 2005. Fire as a global "herbivore": The ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 7: 387–394.
- Čahojová, L., Jakob, A., Breg Valjavec, M., Čarni, A. 2024. Response of vulnerable karst forest ecosystems under different fire severities in the Northern Dinaric Karst mountains (Slovenia). *Fire Ecology*, 20(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00267-x>
- Casals, P., Valor, T., Besalú, A., Molina-Terrén, D. 2016. Understory fuel load and structure eight to nine years after prescribed burning in Mediterranean pine forests. *Forest Ecology and Management*, 362: 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.050>
- Castellnou, M., Kraus, D., Miralles, M. 2010. Prescribed burning and suppression fire techniques: From fuel to landscape management. In *Best practices of fire use – prescribed burning and suppression fire programmes in selected case – study regions in Europe* (pp. 3–16).
- Cerioni, M., Brabec, M., Bače, R., Baders, E., Bončina, A., Brúna, J., Čečko, E., Cordonnier, T., de Koning, J. H. C., Diaci, J., Dobrowolska, D., Dountchev, A., Engelhart, J., Fidej, G., Fuhr, M., Garbarino, M., Jansons, Ā., Keren, S., Kitenberga, M., ... Nagel, T. A. 2024. Recovery and resilience of European temperate forests after large and severe disturbances. *Global Change Biology*, 30, 2: e17159. <https://doi.org/10.1111/gcb.17159>
- Collins, L., Bradstock, R. A., Clarke, H., Clarke, M. F., Nolan, R. H., Penman, T. D. 2021. The 2019/2020 mega-fires exposed Australian ecosystems to an unprecedented extent of high-severity fire. *Environmental Research Letters*, 16, 4: 044029. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abeb9e>
- Conedera, M., Krebs, P., Valsecchi, E., Cocca, G., Schunk, C., Menzel, A., Vacik, H., Cane, D., Japelj, A., Muri, B., Ricotta, C., Oliveri, S., Pezzatti, G. B. 2018. Characterizing Alpine pyrogeography from fire statistics. *Applied Geography*, 98: 87–99. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.07.011>
- Conedera, M., Pezzatti, G. B., Guglielmetti, A., Maringer, J., Gehring, E., Krebs, P. 2025. Are high-severity burns in Alpine beech forests related to eruptive fire behavior? *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 98, 1: 50–58. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpad036>
- Corona, P., Ascoli, D., Barbati, A., Bovio, G., Colangelo, G., Elia, M., Garfi, V., Iovino, F., Laforteza, R., Leone, V., Lovreglio, R., Marchetti, M., Marchi, E., Menguzzato, G., Nocentini, S., Picchio, R., Portoghesi, L., Puletti, N., Sanesi, G., Chianucci, F. 2015. Integrated forest management to prevent wildfires under Mediterranean environments. *Annals of Silvicultural Research*, 39, 1, <https://doi.org/10.12899/asr-946>
- deGroot, M., Bordjan, D. 2007. Possibilities for fire as a management tool on Kras (SW Slovenia): A bird's perspective. *Acrocephalus*, 28: 3–15.

- Diaci, J., Adamič, T., Rozman, A., Fidej, G., Roženberger, D. 2019. Conversion of *Pinus nigra* Plantations with Natural Regeneration in the Slovenian Karst: The Importance of Intermediate, Gradually Formed Canopy Gaps. *Forests*, 10, 12: Article 12. <https://doi.org/10.3390/f10121136>
- Dobrowski, S. Z., Aghai, M. M., Chichilnisky du Lac, A., Downer, R., Fargione, J., Haase, D. L., Hoecker, T., Kildisheva, O. A., Murdoch, A., Newman, S., North, M., Saksa, P., Sjöholm, M., Baribault, T., Buonanduci, M. S., Chambers, M. E., Gonzales-Kramer, L., Harvey, B. J., Hurteau, M. D., ... Sloan, J. 2024. 'Mind the Gap'—Reforestation needs vs. Reforestation capacity in the western United States. *Frontiers in Forests and Global Change*, 7. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1402124>
- Dupuy, J., Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., Fernandes, P. 2020. Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: A review. *Annals of Forest Science*, 77, 2: Article 2. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5>
- Ewald, M., Conedera, M., Stavros, E. N., Fassnacht, F. E. 2025. Forest fires in cool-temperate and humid-continental forests—An overview. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 98, 1: 1–5. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpae063>
- Fernandes, P. M., Fernandes, M. M., Loureiro, C. 2012. Survival to prescribed fire of plantation-grown Corsican black pine in northern Portugal. *Annals of Forest Science*, 69, 7: Article 7. <https://doi.org/10.1007/s13595-012-0211-6>
- Ferrat, L., Morandini, F., Lapa, G. 2021. Influence of Prescribed Burning on a *Pinus nigra* subsp. *Laricio* Forest: Heat Transfer and Tree Vitality. *Forests*, 12, 7: Article 7. <https://doi.org/10.3390/f12070915>
- Hatton, T. J., Viney, N. R., Catchpole, E. A., De Mestre, N. J. 1988. The Influence of Soil Moisture on Eucalyptus Leaf Litter Moisture. *Forest Science*, 34, 2: 292–301. <https://doi.org/10.1093/forestscience/34.2.292>
- Holden, Z. A., Jolly, W. M. 2011. Modeling topographic influences on fuel moisture and fire danger in complex terrain to improve wildland fire management decision support. *Forest Ecology and Management*, 262, 12: 2133–2141. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.08.002>
- Hood, S., Lutes, D. 2017. Predicting Post-Fire Tree Mortality for 12 Western US Conifers Using the First Order Fire Effects Model (FOFEM). *Fire Ecology*, 13, 2: Article 2. <https://doi.org/10.4996/fireecology.130290243>
- Jereb, L., Turk, B. 2014. Uvajanje novih preventivnih ukrepov za omejevanje požarov v naravnem okolju = Introduction of new preventive measures for the limiting of wildfires. *UJMA Številka*, 28: 236–251.
- Jolly, W. M., Cochrane, M. A., Freeborn, P. H., Holden, Z. A., Brown, T. J., Williamson, G. J., & Bowman, D. M. J. S. 2015. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, 6, 1: 7537. <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>
- Knapp, E. E., Varner, J. M., Busse, M. D., Skinner, C. N., Shestak, C. J. 2011. Behaviour and effects of prescribed fire in masticated fuelbeds. *International Journal of Wildland Fire*, 20: 932–945.
- Košiček, B., Poljanec, A., Kravanja, A. 2023. Načrt sanacije gozdov, poškodovanih v požaru Goriški Kras Od 15. Julija do 1. Avgusta 2022. Sežana: Slovenia Forest Service.
- Kranjc, A. 2009. History of Deforestation and Reforestation in the Dinaric Karst. *Geographical Research*, 47, 1: 15–23. <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2008.00552.x>
- Kuuluvainen T., Hofgaard A., Aakala T., Jonsson B. G. 2017. North Fennoscandian mountain forests: History, composition, disturbance dynamics and the unpredictable future. *Forest Ecology and Management*, 385: 140–149. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.031>
- Little, K., Graham, L. J., Flannigan, M., Belcher, C. M., Kettridge, N. 2024. Landscape controls on fuel moisture variability in fire-prone heathland and peatland landscapes. *Fire Ecology*, 20, 1: 14. <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00248-0>
- Marangon, D., Marchi, N., Lingua, E. 2022. Windthrown elements: A key point improving microsite amelioration and browsing protection to transplanted seedlings. *Forest Ecology and Management*, 508: 120050. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120050>
- Maringer, J., Ascoli, D., Küffer, N., Schmidtlein, S., Conedera, M. 2016. What drives European beech (*Fagus sylvatica* L.) mortality after forest fires of varying severity? *Forest Ecology and Management*, 368: 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.008>
- Maringer, J., Wohlgemuth, T., Hacket-Pain, A., Ascoli, D., Berretti, R., Conedera, M. 2020. Drivers of persistent post-fire recruitment in European beech forests. *Science of The Total Environment*, 699: 134006. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134006>
- Matthews, S. 2006. A process-based model of fine fuel moisture. *International Journal of Wildland Fire*, 15, 2: 155–168. <https://doi.org/10.1071/WF05063>
- McKenzie, D., Halpern, C. B., Nelson, C. R. 2000. Overstory influences on herb and shrub communities in mature forests of western Washington, U.S.A.

- Canadian Journal of Forest Research, 30, 10: 1655–1666. <https://doi.org/10.1139/x00-091>
- Moreira, F., Ascoli, D., Safford, H., Adams, M. A., Moreno, J. M., Pereira, J. M. C., Catry, F. X., Armesto, J., Bond, W., González, M. E., Curt, T., Koutsias, N., McCaw, L., Price, O., Pausas, J. G., Rigolot, E., Stephens, S., Tavsanoğlu, C., Vallejo, V. R., ... Fernandes, P. M. 2020. Wildfire management in Mediterranean-type regions: Paradigm change needed. Environmental Research Letters, 15, 1: 011001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab541e>
- Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, E., Barbati, A., Corona, P., Vaz, P., Xanthopoulos, G., Mouillot, F., Bilgili, E. 2011. Landscape – wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management. Journal of Environmental Management, 92, 10: 2389–2402. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.028>
- Nagel, T. A., Cerioni, M. 2023. Structure and dynamics of old-growth *Pinus nigra* stands in Southeast Europe. European Journal of Forest Research, 142, 3: 537–545. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01540-5>
- Nagel, T. A., Mikac, S., Dolinar, M., Klopčič, M., Keren, S., Svoboda, M., Diaci, J., Boncina, A., Paulić, V. 2017. The natural disturbance regime in forests of the Dinaric Mountains: A synthesis of evidence. Forest Ecology and Management, 388: 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.047>
- Nagel, T. A., Svoboda, M., Kobal, M. 2014. Disturbance, life history traits, and dynamics in an old-growth forest landscape of southeastern Europe. Ecological Applications, 24, 4: 663–679. <https://doi.org/10.1890/13-0632.1>
- Nyman, P., Metzen, D., Noske, P. J., Lane, P. N. J., Sheridan, G. J. 2015. Quantifying the effects of topographic aspect on water content and temperature in fine surface fuel. International Journal of Wildland Fire, 24, 8: 1129–1142. <https://doi.org/10.1071/WF14195>
- Panayotov M., Gogushev G., Tsavkov E., Vasileva P., Tsvetanov N., Kulakowski D., Bebi P. 2017. Abiotic disturbances in Bulgarian mountain coniferous forests - An overview. FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT, 388: 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.034>
- Patacca, M., Lindner, M., Lucas-Borja, M. E., Cordonnier, T., Fidej, G., Gardiner, B., Hauf, Y., Jasinevičius, G., Labonne, S., Linkevičius, E., Mahnken, M., Milanovic, S., Nabuurs, G.-J., Nagel, T. A., Nikinmaa, L., Panyatov, M., Bercak, R., Seidl, R., Ostrogović Sever, M. Z., ... Schelhaas, M.-J. 2023. Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. Global Change Biology, 29, 5: 1359–1376. <https://doi.org/10.1111/gcb.16531>
- Pausas, J. G., Llovet, J., Rodrigo, A., Vallejo, R. 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? - A review. International Journal of Wildland Fire, 17, 6: 713. <https://doi.org/10.1071/WF07151>
- Pezzatti, G. B., Bajocco, S., Torriani, D., and Conedera, M. 2009. Selective burning of forest vegetation in Canton Ticino (southern Switzerland). Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology, 143, 3: 609–620. <https://doi.org/10.1080/11263500903233292>
- Piqué, M., Domènech, R. 2018. Effectiveness of mechanical thinning and prescribed burning on fire behavior in *Pinus nigra* forests in NE Spain. Science of The Total Environment, 618: 1539–1546. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.316>
- Rozman, J., Umek, M., Polajnar, T., Oven, D., Logar, J. 2024. Gozdni požar na Potoški gori in sanacija v požaru poškodovanih gozdov. Gozdarski vestnik, 82: 194–208
- Schunk, C., Wastl, C., Leuchner, M., Menzel, A. 2017. Fine fuel moisture for site- and species-specific fire danger assessment in comparison to fire danger indices. Agricultural and Forest Meteorology, 234–235: 31–47. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.12.007>
- Schunk, C., Wastl, C., Leuchner, M., Schuster, C., Menzel, A. 2013. Forest fire danger rating in complex topography & results from a case study in the Bavarian Alps in autumn 2011. Natural Hazards and Earth System Sciences, 13, 9: 2157–2167. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2157-2013>
- Seidl, R., Schelhaas, M.-J., Rammer, W., Verkerk, P. J. 2014. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. Nature Climate Change, 4, 9: 806–810. <https://doi.org/10.1038/nclimate2318>
- Stančič, L., Repe, B. 2018. Post-fire succession: Selected examples from the Karst region, southwest Slovenia. Acta Geographica Slovenica, 58, 1: 27–38. <https://doi.org/10.3986/AGS.1942>
- Šturm, T., Podobnikar, T. 2017. A probability model for long-term forest fire occurrence in the Karst forest management area of Slovenia. International Journal of Wildland Fire, 26, 5: 399–412. <https://doi.org/10.1071/WF15192>
- Swanson, M. E., Magee, M. I., Nelson, A. S., Engstrom, R., Adams, H. D. 2023. Experimental downed woody debris-created microsites enhance tree survival and growth in extreme summer heat. Frontiers in Forests and Global Change, 6. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1224624>
- Thom, D., Rammer, W., Seidl, R. 2017. Disturbances catalyze the adaptation of forest ecosystems to changing climate conditions. Global Change Biology, 23, 1: 269–282. <https://doi.org/10.1111/gcb.13506>

- Thorn, S., Seibold, S., Leverkus, A. B., Michler, T., Müller, J., Noss, R. F., Stork, N., Vogel, S., Lindenmayer, D. B. 2020. The living dead: Acknowledging life after tree death to stop forest degradation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18, 9: 505–512. <https://doi.org/10.1002/fee.2252>
- Trotta, G., Cadez, L., Boscutti, F., Vuerich, M., Asquini, E., Boscarol, G., Cingano, P., Azzani, G., Pischedda, S., Tomao, A., Alberti, G. 2024. Interpreting the shifts in forest structure, plant community composition, diversity, and functional identity by using remote sensing-derived wildfire severity. *Fire Ecology*, 20, 1: 94. <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00330-7>
- Ucitel, D., Christian, D. P., Graham, J. M. 2003. Vole Use of Coarse Woody Debris and Implications for Habitat and Fuel Management. *The Journal of Wildlife Management*, 67, 1: 65–72. <https://doi.org/10.2307/3803062>
- van Gils, H., Odoi, J. O., Andrisano, T. 2010. From monospecific to mixed forest after fire?: An early forecast for the montane belt of Majella, Italy. *Forest Ecology and Management*, 259(3), 433–439. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.040>
- van Mantgem, P. J., Lalemand, L. B., Keifer, M., Kane, J. M. 2016. Duration of fuels reduction following prescribed fire in coniferous forests of U.S. national parks in California and the Colorado Plateau. *Forest Ecology and Management*, 379: 265–272. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.028>
- Vochl, S., de Groot, M., Japeli, A. 2013. Fire as a tool, state and perspectives in Slovenia. *Gozdarski Vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 71, 3: 141–152.
- Wagner, S., Collet, C., Madsen, P., Nakashizuka, T., Nyland, R. D., Sagheb-Talebi, K. 2010. Beech regeneration research: From ecological to silvicultural aspects. *Forest Ecology and Management*, 259, 11: 2172–2182. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.02.029>
- Westerling, A. L. 2016. Increasing western US forest wildfire activity: Sensitivity to changes in the timing of spring. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371, 1696: 20150178. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0178>



Slika 1a-d: Vegetacija in odziv na požar julija 2022 na Goriškem Krasu. A) Nasad črnega bora (*P. nigra*) je gorel z veliko intenzivnostjo; B) Del nasada črnega bora, kjer je preživela večina dreves; C) Območje, kjer prevladuje avtohtoni hrast, ki kaže različne posledice požara, od odmiranja dreves do ponovnega odganjanja v krošnji; D) Protipožarna poseka, ki so jo med požarom ustvarili, da bi olajšali delo gasilcem. Požar te lokacije ni dosegel. Gozd izven te prometnice ima veliko gostoto črnega bora in obilo goriva v spodnji in srednji sestojni plasti, kar povečuje požarno tveganje v ekstremnih vremenskih razmerah. Vse fotografije so posnete junija 2024.

Figure 1a-d: Vegetation and response to July 2022 Goriški Kras wildfires in the Karst region of Slovenia. A) black pine (*P. nigra*) plantation burned at high severity; B) portion of black pine plantation where most trees survived; C) area dominated by native oaks, illustrating a range of fire effects from stem death to resprouting within the canopy; D) Fuel break created during the wildfire to aid firefighter response. The wildfire did not reach this location. Forest outside of the fuel break shows the high density of black pine trees and abundant understory/midstory fuels leading to high fire hazard under extreme fire weather conditions. All photographs taken in June 2024.



Slika 2: Požarišče Potoška gora blizu Preddvora junija 2024, dve leti po požaru, ki je območje prizadel marca 2022. A) Lokacija na strmem južnem pobočju, ki je gorela z veliko intenzivnostjo in kjer je bila večina odmrlih in poškodovanih stoječih dreves sanitarno posekana; B) Sestoj navadne bukve in navadne smreke (*Picea abies*) izven območja požarišča, ki prikazuje visok zastor in relativno majhno količino goriva na tleh, ki bi ga lahko zajel požar; C) Sestoj navadne bukve (*Fagus sylvatica*), ki ga je prizadel požar srednje intenzivnosti, zaradi česar je prišlo do lupljenja skorje.

Figure 2: Potoška Gora fire area, near Preddvor, Slovenia, in June 2024, two years after the March 2022 wildfire. A) location on steep south-facing slope burned at high severity where most of the standing killed and damaged trees had been salvage logged; B) European beech and Norway spruce (*Picea abies*) forest outside of the wildfire perimeter, illustrating the high forest canopy cover and relatively light surface fuels a wildfire is likely to encounter, and C) fire-damaged European beech (*Fagus sylvatica*) trees in an area burned at moderate severity, showing peeling bark.