

Pregled odmiranja hrastov (*Quercus* spp.) v Evropi in pri nas

*Review of oak (*Quercus* spp.) decline in Europe and in Slovenia*



Aljaž PUHEK¹, Tine HAUPTMAN²

Izleček:

Namen raziskave je bil s pregledom domače in tuje literature določiti najpomembnejše abiotске in biotske dejavnike odmiranja doba (*Quercus robur*) in gradna (*Q. petraea*) v Evropi ter pri nas in jim določiti nivo v Manionovi spirali propadanja. Pregledu literature je sledila analiza podatkov Zavoda za gozdove Slovenije o poseku gradna in doba v obdobju 1995–2022 na območju Slovenije. Po pregledu literature smo ugotovili, da na odmiranje gradna in doba vpliva kompleks abiotских in biotskih škodljivih dejavnikov. Kot poglavitni dejavnik predispozicije in hkrati tudi sprožilni dejavnik se najpogosteje omenja sušni stres, katerega vpliv postaja s spreminjanjem podnebja vedno večji, od biotskih dejavnikov pa predvsem različne vrste gliv in fitofor ter vnos najrazličnejših tujerodnih vrst. V proučevanem obdobju sta varstveno-sanacijski posek in posek oslabelega drevja pri dobi znašala kar približno 35 % skupne količine poseka oz. približno 204.000 m³, pri gradnu pa približno 27 % oz. približno 1.109.000 m³. Prevladujoči vzrok za varstveno-sanacijski posek in posek oslabelega drevja so bile bolezni oz. glive, za graden pa je bil to žled.

Ključne besede: modmiranje hrastov, dob, graden, pregled literature, sanitarni posek

Abstract:

The aim of this study was to determine the most important abiotic and biotic factors that contribute to the decline of sessile (*Quercus robur*) and pedunculate oak (*Q. petraea*) in Europe and in Slovenia and to determine their role in Manion's decline disease spiral by reviewing the scientific literature. To further determine the situation of sessile and pedunculate oak in Slovenia we analysed the data from Slovenian Forest Service regarding the felling of both oaks in the period from 1995 to 2022. After the literature review, we concluded that the decline phenomena of sessile and pedunculate oak are caused by a complex of biotic and abiotic factors. As the main predisposing and, at the same time, inciting factor in sessile and pedunculate oak decline, the literature mentions drought, that is being enhanced with the changing climate. From biotic factors, different species of fungi, phytophthora, and introduced invasive species are mentioned. The sanitation felling of sessile oak in the analysed period accounted for approximately 35 % (204,000 m³) of all felling of sessile oak, and the sanitation felling of pedunculate oak accounted for approximately 27 % (1,109,000 m³) of all felling of pedunculate oak. Fungal diseases were predominant reason for sanitation felling of sessile oak and sleet for sanitation felling of pedunculate oak.

Key words: oak decline, sessile oak, pedunculate oak, literature review, sanitation felling

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Najstarejše poročanje o odmiranju hrastov za območje Evrope sega v leto 1739, ko se je zaradi močne zmrzali v zimi med letoma 1739 in 1740 v severovzhodni Nemčiji začelo obsežnejše odmiranje hrastov, ki je trajalo vse do leta 1748 (Thomas in sod., 2002). Nadaljnja poročila o obširnem odmiranju hrastov so se v Evropi pojavljala med letoma 1909 in 1958 ter v 80. in 90. letih prejšnjega stoletja (Thomas, 2008). Od začetka 80. let prejšnjega stoletja je v Evropi opaziti zmanj-

ševanje olistanosti krošenj vseh vrst hrastov (rod *Quercus*). Med letoma 1987 in 1997 je bila od vrst hrastov, domorodnih za Evropo, najbolj prizadeta črnika (*Quercus ilex* L.) – delež osebkov črnike z več kot 10 % osutostjo krošnje se je z 29,1 % povečal na 79,8 %. Glede na delež poškodovanih dreves sta ji sledila dob (*Quercus robur* L.; z 29,4 % na 66,7 %) in graden (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.; z 38,9 % na 70,9 %) (UN/ECE, 1997, cit. po Jurc, 1999). Po podatkih transnacionalne raziskave osutosti krošenj dreves za območje Evrope (Forest Condition ..., 2020), pri kateri so terenske popise

¹ A. P., mag. inž. gozd. Zavod za gozdove Slovenije, OE Kranj, KE Železniki, Trnje 7, SI-4228 Železniki, Slovenija. aljajz.puhek@zgs.si

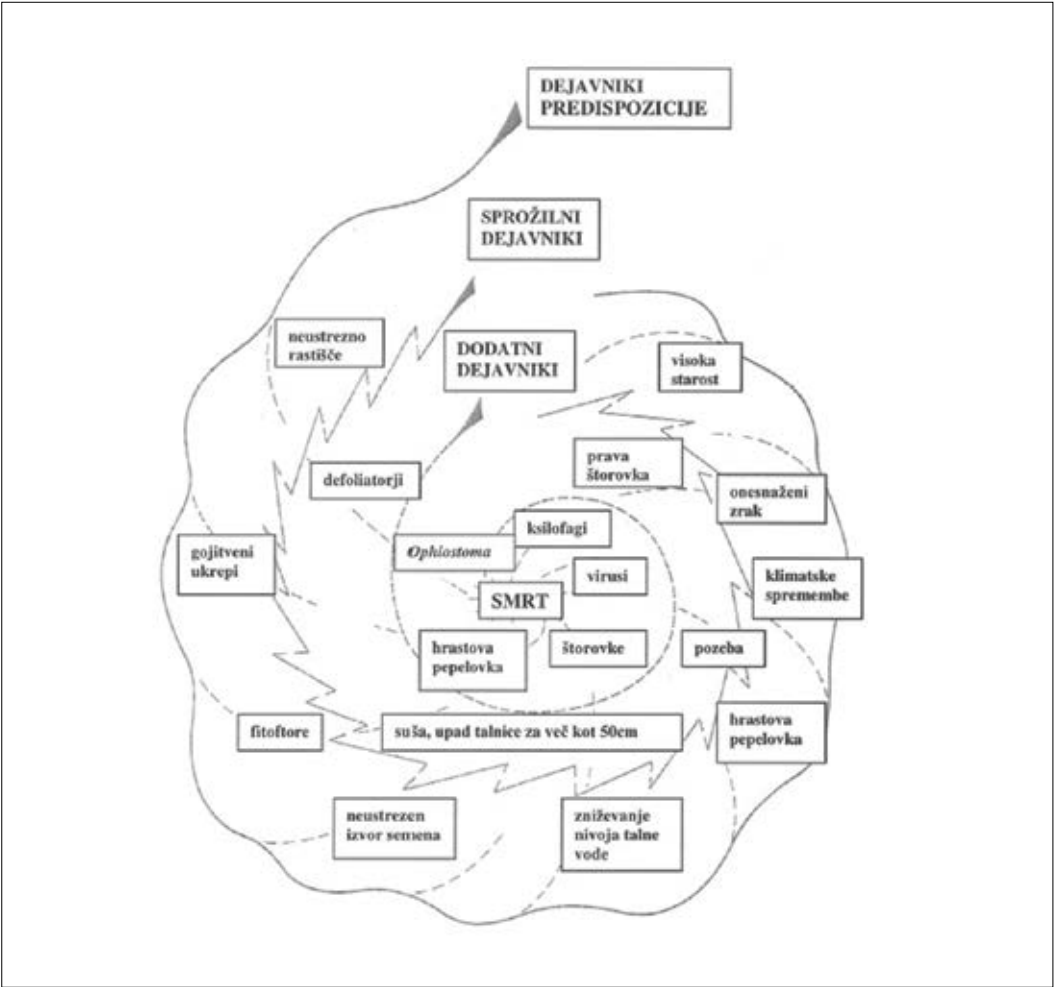
² Doc. dr. T. H., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za varstvo gozdov, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. tine.hauptman@gozdis.si

³ Doc. dr. T. H., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija.

Preglednica 1: Delež skupnega števila dreves posamezne kategorije hrastov glede na osutost krošenj (Forest Condition ..., 2020: 40)

Table 1: Share of the total number of trees in each oak category by canopy cover (Forest Condition ..., 2020: 40)

	Delež števila dreves (%) glede na osutost krošenj					
Osutost krošenj (%)	0–10	>10–25	>25–40	>40–60	>60–99	100
Listopadni hrasti zmernega podnebnega pasu	19,7	42,1	25,4	8,7	3,6	0,5
Listopadni hrasti sredozemskega in subsredozemskega podnebnega pasu	32,0	42,9	16,3	6,2	2,3	0,3
Vednozeleni hrasti	8,0	57,0	21,9	8,5	4,2	0,4



Slika 1: Spirala propadanja drevesa za primer hrasta (Manion, 1981, cit. po Jurc, 1999)

Figure 1: Tree decay spiral for the case of oak (Manion, 1981 cited after Jurc, 1999)

osutosti krošenj izvedli v obdobju 2011–2020 v dvaintridesetih evropskih državah (v raziskavo so bile vključene tudi meritve s Cipra in iz Rusije), je v zmernem podnebnem pasu osutost hrastov v povprečju znašala 25,9 %, osutost listopadnih hrastov v sredozemskem območju 20,9 %, osutost vednozelenih hrastov pa 27,0 % (Preglednica 1).

V Evropi je odmiranje hrastov posledica abiot-skih in biotskih dejavnikov. Nekateri od njih so: zmrzal, suša, onesnaženost zraka, zmanjšanje nivoja podtalnice, napačen način gospodarjenja s hrastovimi gozdovi, žuželčji defoliatorji, podlubniki, patogene glive, bakterije, mikroplazme in virusi (Macháčová in sod., 2022). Poročila evropskih držav o pojavu večjega odmiranja hrastov so v zadnjih desetletjih vse pogostejša.

Znane škodljive dejavnike, ki so del kompleksa abiot-skih in biotskih dejavnikov, ki povzročajo odmiranje hrastov, lahko uvrstimo v t. i. dinamično spiralno pot z ovirami (Manion, 1981) oz. v spiralo propadanja, kot se je izrazil slovenski fitopatolog Dušan Jurc (Jurc, 1999). V tej spirali se različni dejavniki vedejo kot ovire na življenjski poti drevesa (Slika 1). V sako drevo se tekom življenja sreča z različnimi škodljivimi dejavniki. Dejavniki predispozicije (statičen, kontinuiran vpliv na vitalnost drevesa), če so za drevo neustrezni oz. škodljivi, drevo potisnejo na naslednji nivo spirale (pospešijo prehod na naslednji nivo; če bi bili dejavniki predispozicije ves čas ugodni, bi drevo na naslednji nivo prešlo bistveno kasneje zaradi staranja in posledične izgube vitalnosti). Sprožilni dejavniki (akuten, velik vpliv na vitalnost) pospešijo spiralno pot drevesa in jo ukri-vljajo proti sredini (odmrtnju drevesa). Dodatni dejavniki notranjega nivoja spirale tekmujejo za nišo na oslabelem in odmirajočem drevesu in še dodatno pospešijo propad.

Cilj raziskave je bil opredeliti ključne abiot-ske in biotske dejavnike, ki vplivajo na odmiranje doba (*Quercus robur*) in gradna (*Quercus petraea*) v Evropi in Sloveniji, ter ovrednotiti njihovo mesto v okviru Manionove spirale propadanja. Poleg tega je raziskava z analizo podatkov Zavoda za gozdove Slovenije za obdobje 1995–2022 proučila obseg varstveno-sanacijskega poseka in poseka oslabelega drevja, da bi pridobila vpogled v obseg in značilnosti problema v Sloveniji.

Pregled dejavnikov, ki posredno ali neposredno povzročajo odmiranje hrastov v Evropi in v Sloveniji, bomo predstavili po konceptu že omenjene spirale propadanja.

Omenjene vrste smo izbrali zaradi njihovega gospodarskega in ekološkega pomena v Evropi in pri nas.

2 METODE DELA

2 METHODS

Raziskava temelji na pregledu domače in tuje literature o temi odmiranja gradna in doba v Evropi in v Sloveniji ter analizi podatkov Zavoda za gozdove Slovenije glede poseka gradna in doba v obdobju 1995–2022.

Posamezne dejavnike, ki vplivajo na odmiranje doba in gradna, smo po poglavjih razvrstili v dve skupini, in sicer v dejavnike predispozicije in sprožilne dejavnike v enem poglavju ter dodatne dejavnike v drugem. Razlog za združitev dejavnikov predispozicije in sprožilnih dejavnikov je, da je večino v raziskavi predstavljenih škodljivih dejavnikov težko oz. morda celo napačno razvrstiti v eno samo kategorijo (posamezni dejavnik je v določenih razmerah lahko dejavnik predispozicije, v drugačnih razmerah pa morda deluje kot sprožilni dejavnik). V posebnem poglavju smo predstavili le dodatne dejavnike, čeprav njihov vpliv tudi pri tam ni povsem enoznačen in bi jih morda lahko razvrstili v druge kategorije. Vendar pa so glede na pregledano literaturo o škodljivem vplivu na gostitelja vseeno 'blažji' oz. naj bi se v sam proces propadanja drevesa res vključili že blizu konca.

Podatke o poseku smo analizirali s programom Microsoft Excel, zanimala pa nas je predvsem količina varstveno-sanacijskega poseka in vzroki zanj (torej škodljivi dejavnik oz. skupina škodljivih dejavnikov (npr. veter, glive, kompleksna bolezen), zaradi katerih je bil posek drevesa evidentiran kot varstveno-sanacijski posek).

3 PREGLED DEJAVNIKOV PREDISPOZICIJE IN SPROŽILNIH DEJAVNIKOV ODMIRANJA ZA DOB (*Quercus robur*) IN GRADEN (*Q. petraea*)

3 REVIEW OF PREDISPOSING AND INCITING FACTORS FOR THE DECLINE OF SESSILE (*Quercus robur*) AND PEDUNCULATE OAK (*Q. petraea*)

3.1 UPRAVLJALSKO-GOJITVENI DEJAVNIKI

3.1 MANAGEMENT AND SYLVICULTURAL FACTORS

V Sloveniji sta prevladujoča gojitvena sistema gospodarjenja z dobovimi gozdovi zastorno in skupinsko postopno gospodarjenje (Bončina in sod., 2021). Za gradnove gozdove pa prevladuje skupinsko postopno gospodarjenje z naravno obnovo gozdov na večjih površinah (0,5–2 ha). Zastorne sečnje so glavni način obnavljanja teh gozdov.

V dobovih sestojih je zaradi bujno razvite pritalne vegetacije nujno potrebna intenzivna nega mladovij (Bončina in sod., 2021). Za osnovanje dobovih sestojev, kjer bodo imela drevesa velike in vitalne krošnje (in bila posledično odpornejša proti različnim stresnim dejavnikom), so pomembna pravočasna redčenja. Mnenja o času, pogostosti in intenzivnosti redčenj so med strokovnjaki različna; Jurc (1999) kot ustrezno navaja zgodnje, pogosto in neintenzivno redčenje, Matić (1996) predlaga zgodnje, redko in močno redčenje. Jurc (1999) opozarja, da močnejše presvetljevanje sestojev ugodno vpliva na namnožitve defoliatorjev.

Za ohranjanje genetske zasnove in s tem prilagojenosti na lokalne razmere je najprimernejša naravna obnova dobovih in gradnovih sestojev (Ducousso in Bordacs, 2010). Z umetno obnovo reprodukcijski material prenašamo le na lokalni ravni – prenosi med provenienčnimi območji so strogo omejeni. Pri umetni obnovi je treba uporabljati genetske vire iz lokalnih semenskih sestojev, ki so bili določeni na podlagi njihovih fenotipskih lastnosti in zgodovine gospodarjenja.

3.2 ABIOTSKI DEJAVNIKI

3.2 ABIOTIC FACTORS

3.2.1 Hidrološke razmere v tleh

3.2.1 Hydrological soil conditions

Dob najboljše uspeva na svežih tleh na rahlo dvignjenih predelih (mikrovišinah oz. gredah) oz. v rahlih depresijah (mikronižinah), kjer je vode vedno dovolj, da je v dosegu koreninskega sistema, vendar ne toliko, da bi nastalo zamočvirjenje – to bi namreč prizadelo dobove gozdove (Prpić, 1996). Zamočvirjenje rastišča lahko nastane zaradi vzpostavitve akumulacijskega jezera kje v bližini. Z gradnjo nasipov, izkopov drenažnih kanalov ali drugimi osuševalnimi deli pa lahko zamočvirjena rastišča postanejo primerna za uspevanje doba. Dob zaradi transpiracije pogosto potrebuje več vode od količine padavin, zato je potreben zagotovljen dodaten vir vode oz. dostop do talne vode. Dob namreč samo za transpiracijo v vegetacijski dobi potrebuje najmanj 500 mm vode na sezono, primanjkljaj padavin pa dopolni iz talne vode (Prpić, 2003). Z vodnimi razmerami v tleh je povezan koreninski sistem doba, ki je v mladosti razvit v izrazito glavno korenino, ki sčasoma zaostane v rasti. Globina koreninjenja je odvisna od globine talne vode v vegetacijski dobi, in sicer sega do globine, do katere v času največjih potreb doba po vodi le-ta najgloblje upade (Prpić, 1996).

Dob je občutljiv za sušo v času vegetacije predvsem na rastiščih, kjer se je znižal nivo talne vode (Prpić, 1996), kar se kaže z manjšim debelinskim prirastkom (Levanič, 1993). Če pa znižanje nivoja talne vode traja dlje (npr. zaradi pomanjkanja poplav ali zmanjšanja količine padavin), drevo tudi odmre (Prpić, 1996). Na spremembe v nivoju talne vode in dinamiko poplavnih vod se najtežje odzivajo starejši dobovi sestoji (Čater, 1998), ki svojega koreninskega sistema niso sposobni dovolj hitro prilagoditi na nov nivo talne vode v tleh (Prpić, 1996).

Na območju Slovenije pripisujejo ključni pomen za odmiranje dobovih gozdov regulacijam površinskih vodotokov, ki so povzročile znaten upad talne vode (Čater, 1998).

V eni od novejših raziskav o vplivu spremembe nivoja talne vode na rast doba (Jagodic, 2016),

v kateri so primerjali širine branik štiridesetih dreves doba na območju Murske šume, so ugotovili odvisnost dreves od globine talne vode, kar je kazalo na njihovo mikrolokacijsko pogojenost. Ugotovili so nenaden skok v odzivu doba na izbrane okoljske spremenljivke (pretok površinskih vodotokov, povprečne mesečne temperature zraka, povprečne mesečne količine padavin) po letu 1980. Po njihovem mnenju je to posledica zmanjšanja količine za dob razpoložljive talne vode v času vegetacijske dobe (zaradi izvedenih hidrorregulacijskih ukrepov) do take mere, da so prej neomejujoči dejavniki (temperatura zraka in padavine) postali omejujoči. Iz dobljenih rezultatov sklepajo, da bodo višje poletne temperature v kombinaciji z zmanjšano količino padavin v vegetacijski dobi, ki jih s seboj prinašajo podnebne spremembe, postajale vse bolj omejujoč dejavnik za uspevanje doba v Murski šumi.

V času suše oziroma nezadostne preskrbljenosti z vodo v vegetacijskem obdobju dob preprečuje pretirano izgubo vode z aktivnim uravnavanjem prevodnosti listnih rež (Cochard in sod., 1992; Cochard in sod., 1996; Zweifel in sod., 2007). Na tak način prepreči pojav embolije v ksilemu, ki bi sicer lahko nastala zaradi majhnega listnega in ksilemskega vodnega potenciala. Posledica aktivnega uravnavanja prevodnosti listnih rež je zmanjšana asimilacija ogljika, kar povzroči slabšo rast poganjkov (Thomas, 2000; Gieger in Thomas, 2005) in zmanjšano koncentracijo alelokemikalij v listnem tkivu (Thomas in Schafellner, 1999). Posledica zmanjšane asimilacije ogljika in obrambnih snovi pred rastlinojedimi organizmi je večja občutljivost drevesa za napad žuželčnih defoliatorjev in koreninskih patogenov.

Pri odraslih dobovih drevesih lahko suša inducira aktivno odpadanje vejic (kladoptoza), na katerega lahko gledamo bolj kot na odzivni proces aklimatizacije na bodoče sušne strese kot pa na odziv na trenutno sušo (Rust in Roloff, 2004). Zmanjšanje asimilacijske površine zaradi kladoptoze dodatno zmanjša asimilacijo ogljika – drevesa tako postanejo še bolj občutljiva za vpliv različnih stresnih dejavnikov.

Graden je za sušo sicer odpornejši kot dob, vendar lahko zaradi ponavljajočega se sušnega stresa ali enkratne izredne suše prav tako zelo

oslabi ali celo odmre (Petritan in sod., 2021). Za občutljivost gradnovih sestojev za sušni stres je ključna vloga načina gospodarjenja. Petritan in sod. (2021) so v svoji raziskavi namreč ugotovili, da so aktivno gospodarjeni gradnovi gozdovi občutljivejši za sušo kot negospodarjeni starodobni gradnovi gozdovi na podobnih rastiščih. V zredčenih gospodarjenih sestojih drevesa zaradi odstranitve tekmecev razširijo krošnjo in prilagodijo prevodni sistem (širši prevodni elementi), s čimer povečajo količino proizvedenih hranil in svojo rast, vendar zaradi prej omenjenega potrebujejo tudi večje količine vode, zaradi česar so občutljivejši za sušo (Jump in sod., 2017).

3.2.2 Onesnaževanja zraka in vode

3.2.2 Air and water pollution

Dokazov, da bi onesnaževanje zraka ali evtrofikacija neposredno ali posredno bistveno vplivalo na pojav odmiranja doba in gradna na daljše razdalje, skoraj ni (neposreden vpliv na odmrtnost dreves je sicer dokazan v študijah, ki so bile izvedene blizu vira onesnažil, ki so torej proučevale onesnaževanje na kratke razdalje oz. lokalni vpliv onesnaževanja; Thomas in sod., 2002). Vse več pa je dokazov, da onesnaževanje zraka spreminja delovanje ekosistemov, saj pozitivno ali negativno vpliva na razvoj posameznih vrst ali skupin organizmov (Jurc, 1999). Jung in sod. (1996) npr. domnevajo, da so povečane populacije vrst iz rodu *Phytophthora* de Bary, 1876 tudi posledica splošnega povečanja vnosov dušikovih oksidov v gozdni ekosistem. Povečan vnos onesnažil v gozdni ekosistem je zaradi premikov zračnih mas na velike razdalje splošen pojav na celotnem ozemlju Slovenije (Jurc, 1999). V raziskavi hrastovih sestojev na Češkem (Fellner in Pešková, 1995) so ugotovili, da je delež aktivnih mikoriziranih korenin v negativni korelaciji z izgubo drevesnega listja, domnevno zaradi vpliva onesnaženega zraka na mikorizo (Pešková, 2005). Še vedno pa ni povsem jasno, ali je zmanjšanje deleža mikoriziranih korenin pomemben povzročiteljni dejavnik, ki se pojavi zgodaj v razvoju pojava odmiranja hrastov, ali se pojavi kasneje ob interakciji dejavnikov, ki so bistveni povzročitelji odmiranja (Thomas, 2008).

Od zračnih onesnažil je zaradi svoje fitotoksičnosti najbolj problematičen troposferski ozon

(Schaub in Paoletti, 2005). Kronični ozonski stres naj bi bolj vplival na ekosisteme kot akutni vpliv izpostavljenosti drevesa ozonu (Matyssek in Sandermann, 2003). Koncentracije ozona v zraku, ki so trenutno v Evropi, naj ne bi neposredno poškodovale odraslih dreves ali sestojev, zato ozon naj ne bi bil bistveni razlog za odmiranje gradna in doba v Evropi (vsaj ne kratkoročno; Matyssek in Sandermann, 2003). Problematika vpliva povečanega deleža ozona v zraku na odmiranje hrastov postane zelo zapletena za proučevanje zaradi interakcije z drugimi abiotičnimi dejavniki, kot sta npr. suša in povečan delež ogljikovega dioksida v zraku (Broadmeadow in Jackson, 2008).

Onesnažena voda, ki jo drevesa črpajo iz tal, lahko povzroči motnje v delovanju fotosinteze (Khan in Ghouri, 2011), nalaganje onesnažil v drevesnem tkivu v koncentracijah, ki ne povzročijo akutnih poškodb, lahko pa dolgoročno povečajo občutljivost drevesa za druge stresne dejavnike, saj zmanjša njegovo vitalnost (Leblanc in Loehle, 1993).

V Sloveniji je stanje površinskih voda glede na oceno kemijskega stanja za matriks voda za obdobje 2014–2019, ki jo je izvedel ARSO (Ocena kemijskega ..., 2022), v večini dobro. Slabo stanje je ocenjeno le pri Meži med Črno na Koroškem in Dravogradom (prisotnost kadmija in svinca) ter Iščici (merilno mesto Ižanska cesta) zaradi presežanja vsebnosti niklja v vodi. Popolnoma drugačna pa je ocena kemijskega stanja za matriks biota (opravljene analize v organizmih). Na čisto vseh analiziranih površinskih vodah je bilo stanje ocenjeno kot slabo, pri čemer sta bili v organizmih najbolj problematični snovi živo srebro in bromirani difeniletri (BDE). To sta snovi, ki sodita med splošno prisotna onesnažila in se kopičita v organizmih, prenašata se na velike razdalje in se kopičita v organizmih ter sta v njih prisotna kljub prepovedi rabe v EU. Podobno stanje se kaže v vseh evropskih državah, ki so že izvedle analize živega srebra in BDE v ribah. Živo srebro je zelo obstojno in ostane v okolju še mnogo let potem, ko je bilo emitirano; ko se emitira v zrak, se lahko prenaša na dolge razdalje, kar pomeni, da emisije živega srebra vplivajo globalno. V preteklosti so BDE uporabljali kot zaviralce gorenja pri mnogih izdelkih: v plastiki, pohištvi, tekstilni industriji

itn. BDE lahko uhajajo iz izdelkov že med njihovo proizvodnjo, med uporabo in ko jih zavržemo. Tako prehajajo v okolje, kjer so obstojni, se bioakumulirajo in se prenašajo po prehranski verigi. V EU je uporaba tehničnih mešanic BDE prepovedana.

Ocena kemijskega stanja vodnih teles površinskih voda za matriks voda in biota skupaj za obdobje 2014–2019 kaže slabo stanje vseh vodnih teles površinskih voda v Sloveniji. Vzrok za to je slabo stanje za matriks biota (Ocena kemijskega ..., 2022).

Ocena kemijskega stanja podzemnih vod na območju Slovenije za obdobje 2014–2019 kaže na dobro stanje podtalne vode pri večini vodnih teles, izjeme so Savinjska kotlina (slabo stanje zaradi povečane vsebnosti nitratov), Dravska kotlina (slabo stanje zaradi povečane vsebnosti nitratov in atrazina) in Murska kotlina (slabo stanje zaradi povečane vsebnosti nitratov; Ocena kemijskega ..., 2022).

3.2.3 Podnebne spremembe

3.2.3 Climate change

Zaradi podnebnih sprememb se aktivnost kam-bija in brstenje pri dobi in gradnu začeta prej kot pred nekaj desetletji, posledica česar je večje tveganje za spomladansko pozebo (Macháčová in sod., 2022). Vse pogostejše poletne suše in izredno visoke poletne temperature so glede na mnoge novejša raziskave najpomembnejši sprožilni dejavniki, ki vodi do odmiranja hrastov (Doležal in sod., 2010; Sohar in sod., 2014; Haavik in sod., 2015). Macháčová in sod. (2022) so v svoji raziskavi proučili povezavo med odmiranjem hrastov in leti s podpovprečno količino padavin za območje srednje Evrope. Ugotovili so, da na intenzivnost odmiranja hrastov najbolj vplivajo zaporedna leta s podpovprečno količino padavin. Ko se približno pet suhih let zvrsti eno za drugim, skoraj zagotovo sledi odmiranje hrastov.

3.2.4 Zimska in spomladanska pozeba

3.2.4 Winter and spring frost

Nenadni in ostri padci temperature zraka pod ledišče ter dolga obdobja ekstremnega mraza lahko poškodujejo živo tkivo zunanjega dela debla in vej

(floem, kambij) dreves v sestojih doba (Thomas in sod., 2002; Delatour, 1983, cit. po Thomas, 2008). Poškodbe tkiva se v glavnem pojavijo na prisojnih delih debla/vej, kjer je zaradi neposrednega sončnega sevanja pogostejše nihanje med zmrzovanjem in odtajanjem. Zato je tkivo manj odporno (v tkivu je manj snovi, ki preprečujejo poškodbe zamrznitve) za hiter in izrazit padec temperature, še posebno v času pozne zime (Thomas in sod., 1996, cit. po Thomas, 2008; Halász, 2001, cit. po Thomas, 2008). Različni drugi stresni dejavniki, npr. ponavljajoča se defoliacija, še dodatno prispevajo k zmanjšanju odpornosti za hiter padec temperatur, saj se zaradi njih v drevesu zmanjša koncentracija topnih sladkorjev (Thomas in sod., 2004).

Spomladanska pozeba lahko poškoduje mlade, razvijajoče se liste, lahko pa povzroči tudi zračno embolijo v prevodnih elementih ranega lesa, kar povzroči motnje v transportu vode med koreninami in listi (Thomas in sod., 2002).

Znotraj iste populacije se lahko začetek brstenja med posameznimi drevesi razlikuje tudi za cel mesec. V semenskem sestoju doba v Krakovskem gozdu je npr. v letih 2001–2008 pozno odgnalo 5–10 % dreves. Pozno odganjajoči osebki imajo pomembno vlogo pri zlahtnjenju gozdnega drevja – odpornejši so proti spomladanski pozebi. Takih dreves je v naših sestojih zelo malo, prepoznati pa jih je mogoče le z večletnim opazovanjem. Na Hrvaškem razlikujejo pet kategorij dreves glede na začetek olistanja (pozno odganjajočo kategorijo doba označujejo kot '*tardissima*'; Ducousso in Bordacs, 2010).

3.3 BIOTSKI DEJAVNIKI

3.3 BIOTIC FACTORS

3.3.1 Žuželci defoliatorji

3.3.1 Insect defoliators

Intenzivna defoliacija ima pomembno vlogo pri oslabitvi hrastovih dreves, saj zmanjša asimilacijsko površino in s tem količino proizvedenih fotosintetskih produktov (Thomas in sod., 2002). Na večje zmanjšanje vitalnosti sestojev doba in gradna ter posledično odmiranje ključno vpliva večletno ponavljanje defolijacij, ki počasi izčrpava drevesa. Ob večji namnožitvi gobarja je lahko že

ena sama defoliacija dovolj za sprožitev propadanja sestojev doba (Milanović in sod., 2014). Po navadi na propadanje doba bolj vplivajo pozne defolijacije (npr. gobar) kot zgodnje (npr. zeleni hrastov zavijač in mali zimski pedic; Jurc, 1999).

V raziskavi pomembne entomofavne hrastovih gozdov v Sloveniji (Harapin in Jurc, 2000) so na devetih raziskovalnih ploskvah v dobovih in gradnovih gozdovih proučevali entomofavno. Določili so 35 vrst žuželk in dva rodova iz trinajstih družin. Defoliacija hrastovega listja je bila 10–90 %. Več kot 80 % defolijacij sta povzročila veliki in mali zimski pedic (*Erannis defoliaria* Cl., *Operophtera brumata* L.). Med zavijači je bil najštevilnejši zeleni hrastov zavijač (*Tortrix viridana* L.), sledili so mu *Archips crataegana* Hb. in vrsti *Laspeyresia splendana* Hb. ter *Laspeyresia amplana* Hb. Hrastov podmladek je v zadnjih desetih letih zelo napadel miner hrastovega listja (*Tischeria complanella* Hb.). Hrastov semenar (*Balaninus glandium* Mrsh.) in leskov semenar (*Balaninus nukum* L.) sta povzročila pomembno škodo na želodu. V Prekmurju je bila v času namnožitve defoliatorjev povečana gostota populacij njihovih plenilcev, kot so krešiči in mrharji (*Calosoma sycophanta* L., *Calosoma inquisitor* L., *Carabus* spp., *Xylodrepa quadripunctata* L.). Prisotnost plenilcev po namnožitvi gosenic defoliatorjev je kazala na dober mehanizem uravnavanja naravnega ravnovesja v sestojih. V raziskavi so ugotovili, da je v Sloveniji zdravstveno stanje hrastovih gozdov boljše kot na Hrvaškem in v jugovzhodni Evropi.

Največ poškodb z defoliacijo pri dobi in gradnu povzročajo naslednje vrste (Thomas, 2008):

- veliki zimski pedic (*Erannis defoliaria* Clerck, 1759; Insecta, Lepidoptera, Geometridae): povzroči lahko popolno defoliacijo gradna in doba, s čimer se zmanjša prirastek ranega lesa. Defolijacije se lahko ponavljajo več let zaporedoma, dokler se ne zmanjša število osebkov velikega zimskega pedica zaradi namnožitve njegovih zajedavcev, plenilcev in pojava bolezní (Winter, 2012);
- mali zimski pedic (*Operophtera brumata* Linnaeus (1758); Insecta, Lepidoptera, Geometridae) in zeleni hrastov zavijač (*Tortrix viridana* Linnaeus, 1758; Insecta, Lepidoptera, Tortricidae): v raziskavi, opravljeni v obdobju

1992–2010 na območju narodnega parka Đerdap v Srbiji (Glavendekić in Medarević, 2010), so ugotovili, da sta mali zimski pedic in zeleni hrastov zavijač ključna defoliatorja, ki prispevata k propadanju hrastov na proučevanem območju (za posebno občutljivega za njune defoliacije se je izkazal graden). *T. viridana* je bil tudi povzročitelj večjih odmiranj krošenj v južni Angliji v osemdesetih letih prejšnjega stoletja (Winter, 2012);

- gobar (*Lymantria dispar* Linnaeus, 1758; Insecta, Lepidoptera, Lymantriidae): je eden najpomembnejših defoliatorjev doba (Copolovici in sod., 2017). Gosenice gobarja so zelo velike (v dolžino merijo od 5 do 9 cm) in lahko v enem dnevu pojedjo do približno 10 cm² listne površine na gosenico. V osemdesetih letih 20. stoletja so bile na območju južnega Urala defoliacije doba ob namnožitvah gobarja eden od ključnih dejavnikov propadanja doba. Z dendrokronološko raziskavo na omenjenem območju (Kuchеров, 1989) so ugotovili, da je bil neposreden vpliv na zmanjšanje debelinskega prirastka doba opazen pri defolijacijah, ki so prizadele več kot 50 % krošnje. Dob je po večji defolijaciji začel normalno priraščati šele po 1–2 letih. Ugotovili so tudi, da je v proučevanem obdobju pozna spomladanska pozeba manj vplivala na priraščanje doba kot večje defoliacije zaradi gobarja;

- hrastov sprevodni prelec (*Thaumetopoea processionea* Linnaeus, 1758; Insecta, Lepidoptera, Thaumetopoeidae): njegove gosenice so pomemben defoliator gradna in doba, pri čemer največjo škodo ob namnožitvi povzročajo pri posamezno rastočih hrastih zunaj gozda in pri hrastih, ki rastejo v sestojih z dominantnim deležem hrasta (Wagenhoff in Veit, 2011). Razvoj gosenic poteka skozi šest stadijev; od tretjega stadija naprej so gosenice prekrte z drobnimi ožigalnimi dlačicami, ki ob dotiku s človeško kožo povzročajo vnetja kože – gosenični dermatitis (Ogris, 2010). Dlačice z lahkoto odpadajo z gosenic, veter pa jih lahko raznese po prostoru, v katerem se ohranijo tudi več let in so celoletno tveganje za zdravje ljudi (Townsend, 2013). V 19. stoletju in prvi polovici 20. so v Nemčiji večkrat poročali o večjih namnožitvah hrastovega sprevodnega prelca in posledičnih defolijacijah (Wagenhoff in Veit, 2011). V preteklosti je bil hrastov sprevodni prelec razširjen predvsem v centralni in južni Evropi, s podnebnimi spremembami, mednarodno trgovino in potovanjem ljudi pa se je začel intenzivno širiti. V Združenem Kraljestvu o njegovem pojavljanju poročajo od leta 2006, pri čemer se bolj kot s samim vplivom na hraste ukvarjajo z vplivom na človeka zaradi stika z ožigalnimi dlačicami gosenic (Townsend, 2013).



Slika 2: Odrasli osebek hrastove čipkarke (foto: Simon Zidar, Gozdarski inštitut Slovenije)

Figure 2: Adult specimen of the Oak Lacewing (photo: Simon Zidar, Forest Research Institute of Slovenia)

3.3.2 Hrastova čipkarka

3.3.2 Oak lace bug

Od leta 2016 (prva najdba – Jurc in Jurc, 2017) je v Sloveniji prisotna tudi invazivna tujerodna vrsta hrastova čipkarka (*Corythucha arcuata* (Say); Insecta, Heteroptera, Tingidae), ki je zdaj razširjena že v večini države (Kavčič in Groot, 2021). O hitrem širjenju hrastove čipkarke poročajo tudi s Hrvaške (Zorić in sod., 2023), kjer so jo prvič zaznali leta 2013, v naslednjih letih pa se je širila proti zahodnemu celinskemu delu države – razširila se je v kar 200.000 ha dobovih sestojev. Z raziskavo so hrastovo čipkarko odkrili tudi v Istri, od koder do takrat še niso poročali o njeni razširjenosti.

Odrasli osebki hrastove čipkarke in njihove larve na spodnji strani listov sesajo rastlinski sok,

s čimer povzročijo izgubo klorofila, posledično se zmanjša aktivnost fotosinteze. Listi sčasoma zbledijo, se posušijo in odpadejo. Ker hrasti debelinsko prirastajo v prvi polovici rastne sezone, ko je poškodovanost zaradi čipkarke še relativno majhna, vrsta domnevno drastično ne vpliva na letni prirastek. Na dolgi rok pa bi ponavljajoče se (vsakoletne) poškodbe lahko negativno vplivale na prirast, zdravje in pomlajevanje hrastov, za kar pa trenutno ni dokazov. Vrsta tako pomeni dodaten škodljiv dejavnik, ki deluje v procesu hiranja hrastov. Hrastova čipkarka bi lahko negativno vplivala tudi na druge herbivore, ki se prehranjujejo z listi hrastov, predvsem na vrste, ki se pojavljajo pozno v sezoni (Paulin in sod., 2020; Hoch in sod. 2024).

3.3.3 Dvopikasti krasnik

3.3.3 Two-spotted oak buprestid

Agrilus biguttatus Fabricius, 1777 (Insecta, Coleoptera, Buprestidae) oz. dvopikasti krasnik je floemofagni, 8,5–13 mm velik hrošč, ki postaja vse pomembnejši sekundarni škodljiv organizem hrastov (Moraal & Hilszczanski, 2000). Od 20. stoletja naprej je imel ključno vlogo pri nekaterih večjepovršinskih odmiranjih hrastov v celinskem delu Evrope in Rusije. V 90. letih prejšnjega stoletja so v Angliji ugotovili, da obstaja povezava med dvopikastim krasnikom in akutnim odmiranjem hrastov, sindromom, prisotnim predvsem v Veliki

Britaniji, ki pogosto povzroči naglo odmrtno gradna in doba (Gibbs & Greig, 1997). Dvopikasti krasnik sicer oslabi gostitelja predvsem zaradi prehranjevanja ličink – samice namreč zgodaj poleti odložijo jajčeca globoko v razpoke lubja na deblu odraslih hrastov, ličinke pa se potem hranijo z ličjem. Krasnik ima večinoma dvoletni razvojni krog (redkeje tudi enoletnega), pri katerem ličinke prezimijo v skorji in nato nadaljujejo s prehranjevanjem in rastjo. Popolnoma razvite larve ustvarijo kamrice v zunanjem delu skorje, kjer prezimijo, aprila ali maja naslednje leto pa se zabubijo. Odrasli osebki zgodaj poleti izletijo iz drevesa skozi luknjice, ki spominjajo na črko D, dve leti po ovipoziciji (Reed in sod., 2017).

3.3.4 Fitoflore

3.3.4 *Phytophthora* species

Phytophthora quercina Jung in Burgess, 2009 (Oomycota, Peronosporales, Peronosporaceae) so odkrili relativno pred nedavnim (Jung in sod., 1999) in je glede na zdajšnje znanje za dob z območja odmiranja v srednji Evropi najbolj patogen vrsta iz rodu *Phytophthora*. V preizkusih patogenosti je bila ugotovljena velika smrtnost med mladimi doba, okuženimi s fitoforo, zaradi nekroze korenin in kloroze listja (EPPO, 2000). Na Bavarskem (zvezna dežela na jugu Nemčije) so Jung in sod. (2008) ugotovili veliko povezanost med odmiranjem doba in prisotnostjo *P. quercina* na peščenasto-ilovnatih do glinenih tleh s povprečnim pH 3,5. V sestojih, ki so uspeli na peščenih do peščenasto-ilovnatih tleh s povprečnim pH 3,9, jim ni uspelo izolirati nobene od vrst iz rodu *Phytophthora*. Zato so sklepali, da je fitofora očitno vezana na nižji pH tal (pri nižjem pH tal lahko fitofora tolerira tudi zanjo manj ugodno strukturo tal) oz. na specifične talne razmere (dovolj vlažna tla za razvoj sporangijev in sprostitve zoospor). Ugotovili so, da je *P. quercina* na rastiščih doba na peščenasto-ilovnatih do glinenih tleh s povprečnim pH 3,5 eden od ključnih dejavnikov za odmiranje dreves, ker povzroči veliko škodo njihovemu koreninskemu sistemu.

Veliko patogenost *P. quercina* za dob so ugotovili tudi v Italiji (Vettraino in sod., 2002). Razlika med njihovimi rezultati in prej omenjenimi nemškimi je bila v tem, da so v Italiji uspeli izolirati fitof-



Slika 3: Odrasel osebek dvopikastega krasnika (foto: Gyorgy Csoka, Hungary Forest Research Institute, Bugwood.org)

Figure 3: Adult specimen of the Double-crested Fritillary (photo: Gyorgy Csoka, Hungary Forest Research Institute, Bugwood.org)

toro tudi pri peščenih tleh z višjo pH vrednostjo (manj kislila tla). Dodatno so potrdili še ugotovitev raziskave Junga in sod. (1999), da je optimalna temperatura za uspevanje *P. quercina* približno 25 °C; po desetdnevem gojenju izolatov pri 30 °C se je rast fitoftore ustavila in se ni ponovno začela niti po vrnitvi na nižjo temperaturo.

V raziskavi (Jung in sod., 2015), v kateri so med letoma 1972 in 2013 spremljali pojavnost fitoftor (*Phytophthora* spp.) v 732 evropskih drevesnicah in na 2525 lokacijah, kjer je bil posajen sadilni material iz spremljanih drevesnic, so potrdili prisotnost 49 taksonov fitoftor. Le-te so bile prisotne v 670 drevesnicah (91,5 % vseh spremljanih drevesnic), znotraj katerih jih je bilo od 1992 nasadov okuženih 1614, večina okuženih rastlin pa je bila videti zdrava. Z gozdnih in negozdnih lokacij na prostem, kjer so uporabili sadilni material iz spremljanih drevesnic, so od 2525 lokacij fitoftore potrdili na 1667 lokacijah (določili so 56 taksonov fitoftor). Na omenjenih okuženih lokacijah so okužene rastline pogosto kazale simptome okužbe, kot so osutje krošnje, kloroza listja/iglic in tudi odmrte celotne rastline zaradi ekstenzivne izgube finih korenin in/ali trohnenja koreninskega vratu. Najmanj 47 določenih taksonov fitoftor je bilo tujerodnih, sedem znanih vrst fitoftor so v Evropi našli prvič, sedem taksonov pa je bilo v znanosti zabeleženih sploh prvič. V raziskavi so izpostavili težavo neučinkovitega evropskega sistema za preprečevanje vnosa in širjenja tujerodnih patogenov rastlin. Ves sistem namreč temelji na naključnih vizualnih pregledih rastlinskega materiala (v raziskavi so dokazali, da je v drevesnicah večina okuženih rastlin vizualno popolnoma zdrava, kar pomeni, da brez molekularnih metod ne moremo odkriti patogenov), poleg tega pa je sistemske omejitve mogoče sprejeti samo za trenutno znane vrste patogenov, ne pa za neznane, kar je svojstven paradoks.

V raziskavi so ugotovili, da fitoftore zaradi svoje specifične življenjske strategije, ki temelji na izredno odpornih oosporah, ki so zmožne dolgoročnega preživetja, klamidiosporah, ki so zmožne srednje- in kratkoročnega preživetja, multiciklične produkcije sporangijev, ki v okolje sproščajo zoospore, ki lahko okužijo popolnoma zdrava, nepoškodovana tkiva različnih gostiteljev,

njihove pogoste velike agresivnosti, pri določenih vrstah zelo velikega razpona gostiteljev, pri drugih vrstah pa izjemne specializiranosti na določene gostitelje, predstavljajo od trenutno obstoječih najuspešnejšo skupino invazivnih patogenov rastlin.

3.3.5 Hrastova pepelovka

3.3.5 Powdery oak mildew

Hrastova pepelovka (*Erysiphe alphitoides* (Griffon & Maubl.) U. Braun in S. Takam. (2000); Ascomycota, Leotiomyces, Erysiphales, Erysiphaceae) je ena od najpogostejših boleznih gradna in doba v Evropi, pri čemer je dob njen najprimernejši gostitelj (Hajji in sod., 2009). *E. alphitoides* je tujeroden patogen, ki se je v Evropi začel širiti v letu 1907 (Foex, 1941, cit. po Hajji in sod., 2009). Bolezen lahko zelo prizadene gostitelja, še posebno dobovo mladje (zmanjšana rast, velika mortaliteta). Pri odraslih drevesih sama po sebi sicer povzroči manj škode (zmanjšana vitalnost drevesa), v kombinaciji z drugimi škodljivimi dejavniki pa lahko vodi v propad drevesa. Kljub prej omenjenemu pa obstajajo dokazi, da je ob močnejši okužbi lahko pepelovka ključni dejavnik propada odraslih dreves (Hajji in sod., 2009). Bolezen se pojavi le na mladih, razvijajočih se listih. Kolonizacija patogena povzroči nekroze listnega tkiva le na listih, ki so šele na začetku svojega razvoja. Zaradi okužbe s hrastovo pepelovko se bistveno zmanjša življenjska doba posameznega lista (listje prej odpade), nekoliko manjša je tudi asimilacija (zmanjšanje za približno 20–30 %), kar povzroči oslabeitev drevesa (Hajji in sod., 2009). V Evropi poleg *E. alphitoides* podobne simptome povzročajo še tri kriptovrste, in sicer *E. quercicola*, *E. hypophylla* in *Phyllactinia roboris* (Marçais in Desprez-Loustau, 2014).

4 DODATNI DEJAVNIKI ODMIRANJA ZA DOB IN GRADEN 4 CONTRIBUTING FACTORS FOR SESSILE AND PEDUNCULATE OAK DECLINE

Pri odmiranju doba in gradna je veliko dodatnih dejavnikov. Nekateri od njih so:

- štorovke (*Armillaria* spp.): v odmiranje doba se vključijo, ko je drevo že oslajeno oz. ko že propada (Halmschlager in Kowalski,

- 2004; Thomas, 2008). Neoslabljenega drevesa ne morejo okužiti in uničiti (Jurc, 1999). V raziskavi (Denman in sod., 2017), v kateri so analizirali 51 izolatov štorovk iz slabo vitalnih dobov, rastočih v Angliji, so potrdili štiri vrste štorovk: *Armillaria gallica*, *A. mellea*, *A. ostoyae* in *A. tabescens*. Najpogostejše so izolirali vrsto *A. gallica*, vendar le iz dobov, ki so rasli v gozdu. Iz dobov, rastočih na vrtovih, so izolirali vrsto *A. mellea*, vrsto *A. tabescens* so potrdili le v štirih od 51 izolatov tako iz dobov, rastočih v gozdu, kot tudi iz tistih, ki so rasli na vrtovih. V raziskavi so ugotovili, da bi bile potrebne nadaljnje raziskave, če želimo podrobneje določiti vlogo štorovk pri odmiranju doba, pri raziskavah pa bi se morali osredotočiti predvsem na *A. gallica* in njene interakcije z drugimi mikroorganizmi ter tudi drugimi vrstami štorovk;
- podlubniki, strženarji, kozlički in druge ksilofagne vrste: pospešujejo propad oslabelega drevesa (Jurc, 1999). V nedavno objavljeni raziskavi (Macháčová in sod., 2022), ko so med letoma 2020 in 2021 v šestih gradnovih in dobovih sestojih na Češkem, ki so bili izpostavljeni suši v obdobju 2015–2019, vzorčili tam prisotne žuželke, so ugotovili, da so bile najpogostejše naslednje družine vrst, ki uspevajo pod skorjo gostiteljskega drevesa: Cerambycidae (kozlički; znotraj te družine je bila najpogostejša vrsta *Xylotrechus antilope* (Schönherr, 1817)), Curculionidae (rilčkarji; hrastov beljavar – *Scolytus intricatus* Ratzeburg, 1837 in hrastov lesar – *Xyleborus monographus* Fabricius, 1792) in Buprestidae (krasniki; dvopikasti krasnik – *Agrilus biguttatus* Fabricius, 1777, *A. sulcicollis* Lacordaire, 1835);
 - hrastov korenovec (*Gymnopus fusipes* (Bull.) Gray (1821); Basidiomycota, Agaricomycetes, Omphalotaceae): povzroča trohnenje korenin na bolj sušnih peščenih tleh. Bolezen sicer povzroča zmanjšanje vitalnosti doba skupaj z drugimi stresnimi dejavniki (Thomas, 2008);
 - bakterije, mikroplazme in virusi (Thomas, 2008). Büttner in Führling (1996) sta v dobovih sestojih in drevesnicah v severni Nemčiji proučevala povzročitelje klorotičnih simptomov na listih in ugotovila, da simptomi verjetno pripadajo eni od kriptičnih virusnih skupin.

Nekatere vrste bakterij naj bi bile povezane z ‚akutnim odmrtnjem hrastov‘ (acute oak decline ali AOD) – bolezenijo, s katero se soočajo v Angliji. Brady in sod. (2017) so v raziskavi iz AOD simptomatičnih hrastov najpogostejše izolirali naslednje vrste bakterij: *Gibbsiella quercinecans*, *Brenneria goodwinii* and *Rahnella victoriana*, so pa avtorji raziskave omenili, da je med vrstami izredno zahtevno razločevanje zaradi podobnosti v kolonijski morfologiji, fenotipskemu profilu in 16S rRNK genskih sekvencah;

- vrste iz rodu *Ophiostoma*: pri dobu delujejo kot šibki patogeni (povzročajo nekroze tkiva), so del kompleksa za dob škodljivih dejavnikov (Selochnik in sod., 2014).

5 REZULTATI IN RAZPRAVA

5 RESULTS AND DISCUSSION

Znanstveni viri, ki smo jih pregledali v naši raziskavi, kot ključni sprožilni dejavnik (tudi dejavnik predispozicije) za odmiranje doba večinoma navajajo sušni stres, kar potrjujejo tudi nekatere v Sloveniji opravljene raziskave, npr. Čater in Batič (1999), Jagodic (2016), Dogar (2021).

Gradbeni je glede na izsledke raziskav za sušo sicer odpornejši kot dob, vendar ga sušni stres kot predispozicijski dejavnik (ponavljajoče se zmerne suše) in kot sprožilni dejavnik (enkratna izredna suša) lahko prav tako zelo oslabi ali pa drevo zaradi njega celo odmre (Petritan in sod., 2021). Zato lahko sušo pri gradnu prav tako uvrščamo med pomembnejše povzročitelje odmiranja, vendar je njen vpliv, splošno gledano, vseeno manjši oz. manj izrazit kot pri dobu. V povezavi s spopadanjem s sušo raziskave kot ključno navajajo ustrezno gospodarjenje z gradnovimi in dobovimi sestoji v obliki posnemanja procesov in struktur sestojev v negospodarjenih starodobnih gozdovih (npr. Petritan in sod., 2021). Bistvena je počasnejša rast (v mladosti manjše krošnje). Na tak način drevesa prilagodijo svoj prevodni sistem, ki za nemoteno delovanje potrebuje manjšo količino vode in je tako odpornejši za njeno pomanjkanje (drevesa imajo pri počasnejši rasti (manjše krošnje) ožje prevodne elemente, zato ob sušnem stresu tudi težje nastane prekinitev vleka vode in zračnih

embolij). Poleg prej omenjenega naj bi večje presvetljevanje hrastovih sestojev (intenzivnejše gospodarjenje) tudi ugodno vplivalo na gradacije defoliatorjev (Jurc, 1999). V povezavi s hidrološkimi razmerami so za rast hrastovih sestojev ključna tudi različna hidromelioracijska dela (npr. upad nivoja podtalnice zaradi regulacije vodotokov) in onesnaženost vode, ki jo drevesa črpajo iz tal. Le-ta lahko povzroči motnje v delovanju fotosinteze in nalaganje onesažil v tkivu drevesa v koncentracijah, ki ne povzročajo akutnih poškodb, lahko pa dolgoročno povečajo občutljivost drevesa za druge stresne dejavnike (Khan in Ghouri, 2011; Leblanc in Loehle, 1993). Glede na predvideno povečano pogostost in intenzivnost vremenskih ekstremov zaradi podnebnih sprememb se bo le še povečeval pomen sušnega stresa kot dejavnika predispozicije in sprožilnega dejavnika pri odmiranju hrastovih sestojev. V povezavi s prej omenjenimi podnebnimi spremembami se povečuje tudi tveganje za spomladansko pozebo, za katero je dob precej občutljiv (Thomas in sod., 2002, Delatour, 1983, cit. po Thomas, 2008). Odpornost dobovih sestojev za spomladansko pozebo se sicer lahko izboljša s sajenjem pozno odganjajočih osebkov, vendar je pri nas takih dreves zelo malo, prepoznati pa jih je mogoče le z večletnim opazovanjem (Ducousso in Bordacs, 2010).

Žuželčji defoliatorji so tako dejavnik predispozicije (ponavljajoče se manjše defoliacije, ki drevo oslabijo) kot tudi sprožilni dejavnik (večja enkratna defoliacija, ki lahko povzroči propad drevesa) odmiranja gradna in doba. Zaradi vse višjih povprečnih temperatur lahko pričakujemo povečano aktivnost žuželčjih defoliatorjev (oz. žuželk na splošno), saj je njihova telesna aktivnost odvisna od zunanje temperature (so eksotermne) – zvišana povprečna temperatura povečuje njihovo vitalnost, plodnost in sposobnost preživetja (Jurc in sod., 2021). Vse pogostejši vremenski ekstremi in ujme še dodatno oslabijo drevesa, tako da se njihova obrambna zmogljivost pred žuželčjimi defoliatorji (in tudi drugimi stresnimi dejavniki, pred katerimi se vitalno drevo lahko brani) zmanjša in tako postanejo še občutljivejše za defoliacije. Podnebne spremembe povečujejo pomen žuželčjih defoliatorjev.

Posebna grožnja gradnu in dobu je vnos tujerodnih invazivnih vrst (primera hrastove pepelovke in hrastove čipkarke), saj med seboj kot vrste v preteklosti niso imeli interakcij in skupnega evolucijskega razvoja. Zato obstaja možnost, da se drevo, če ga bo nova patogeni vrsta spoznala kot primerne gostitelja, ne bo zmožilo oz. znalo braniti, kar lahko povzroči velikopovršinsko odmiranje, kot se je npr. zgodilo pri brestih s holandsko brestovo boleznijo in se trenutno dogaja velikemu in poljskemu jesenu zaradi jesenovega ožiga. Podnebne spremembe tudi v tem primeru za graden in dob niso nekaj pozitivnega, saj povečujejo tveganje za uspešno naturalizacijo tujerodnih vrst in s tem tveganje za razvoj invazivnih tujerodnih vrst (približno 10 % vnesenih tujerodnih vrst se namreč naturalizira oz. ustali, približno 10 % od njih pa jih postane invazivnih (de Groot in sod., 2017)). Vedno milejše zime omogočajo preživetje vedno večjemu številu tujerodnih organizmov – vrstna pestrost se namreč povečuje od polov proti ekvatorju (Willig in Presley, 2018). To pomeni, da bo naše prihodnje podnebje, če se bodo temperature povečevale (in če se bo ohranjala dovoljšnja količina padavin), vedno primernejše za bistveno več vrst, kot jih je pri nas lahko uspevalo doslej (v primeru nezadostne količine padavin pa bo omejujoč dejavnik preživetja večjemu številu vrst verjetno postala odpornost proti suši, čemur bodo prav tako sledile spremembe v vrstni sestavi organizmov). Če k prej omenjenemu dodamo še komponento intenzivne mednarodne trgovine in potovanja ljudi, ki organizmom omogočajo hitro širjenje na daljše razdalje, lahko kljub nekaterim ukrepom za preprečevanje širjenja tujerodnih invazivnih vrst pričakujemo. Da se bo njihovo število pri nas vzrajno povečevalo.

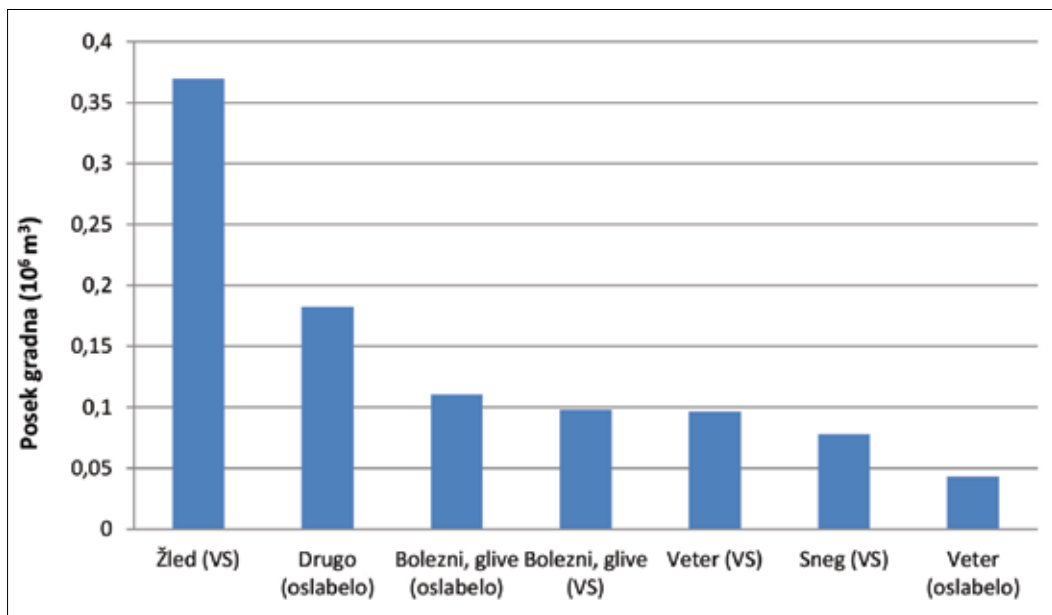
Pri odmiranju gradna in doba je veliko dodatnih dejavnikov, v pregledu objav smo navedli le nekatere, ki so v literaturi pogostejše omenjene. Nekatere od njih (npr. štorovke) lahko glede na trenutno znanje (Jurc, 1999; Halmschlager in Kowalski, 2004; Thomas, 2008) z gotovostjo uvrstimo med dodatne dejavnike (v odmiranje drevesa se vključijo šele takrat, ko je le-to oslabilo oz. že propada). Pri mnogih drugih pa je uvrstitev v to skupino vprašljiva, saj lahko patogeno delujejo,

že preden je drevo dejansko bolj oslابلjeno. Tudi pri dodatnih dejavnikih se ne moremo izogniti vplivom spreminjajočega se podnebja. V spremenjenih razmerah se lahko nekateri od organizmov, ki smo jih obravnavali kot dodatni dejavnik pri odmiranju gradna in doba, zaradi spremenjenega delovanja spremenijo v škodljivi dejavnik ali pa dejavnik predispozicije, lahko pa tudi sami oslabiljo in tako izpadejo iz skupine dodatnih dejavnikov. Pomembne so tudi kompleksne povezave ob hkratnem delovanju več patogenih organizmov v kombinaciji z abiotskimi škodljivimi dejavniki, ki pa jih je težko proučevati.

V Sloveniji (podatki Zavoda za gozdove Slovenije) smo v obdobju 1995–2022 z analizo evidence poseka gradna ugotovili, da je količina varstveno-sanacijskega poseka in poseka oslabilih dreves znašala kar približno 27 % skupne količine poseka oz. približno 1.109.000 m³, kar je relativno veliko. Med vzroki za varstveno-sanacijsko sečnjo oz. posek oslabilih dreves (slika 4) je bistveno prevladoval žled (približno 37 % vse

varstveno-sanacijske sečnje in poseka oslabilih dreves), z 19 % so mu sledili drugi razlogi (v tem primeru gozdar ali ni bil prepričan, kaj je bil vzrok za odmrtnje oz. oslabele drevesa, ali pa je bil vzrok nekaj drugega od možnosti, ponujenih v sistemu, zato je v evidenco vnesel kategorijo 'drugo'), njim pa še boleznii oz. glive ter veter in sneg. Skupaj so bili abiotski dejavniki (žled, veter in sneg) vzrok za približno 60 % vse varstveno-sanacijske sečnje in poseka oslabilih dreves, biotski dejavniki pa le za približno 21 %, od tega velika večina glive oz. boleznii. Iz omenjenega lahko zaključimo, da v Sloveniji graden bolj kot biotski dejavniki ogrožajo abiotski dejavniki, katerih vpliv bo v spremenjenem podnebjii verjetno še izrazitejši.

Količina varstveno-sanacijskega poseka in poseka oslabilih dreves je pri dobi znašala približno 35 % skupne količine poseka oz. približno 204.000 m³. Med vzroki za varstveno-sanacijsko sečnjo oz. posek oslabilih dreves (slika 5) prevladujejo glive oz. boleznii (približno 43 % celotne varstveno-sanacijske sečnje in poseka oslabilih



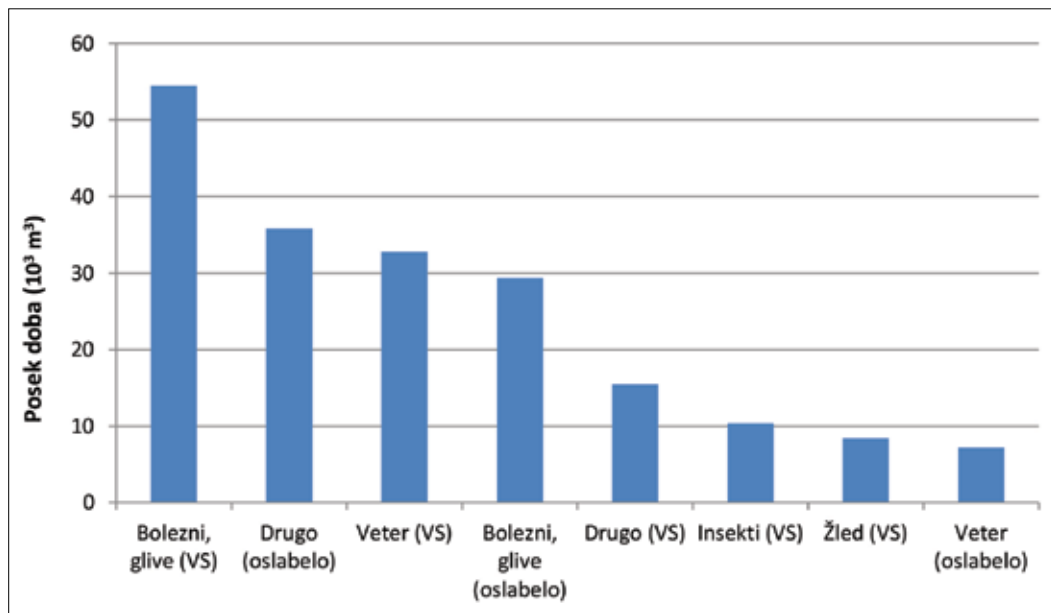
Slika 4: Prikaz količine poseka gradna glede na posamezne vzroke za varstveno-sanacijsko sečnjo (VS) in posek oslabilih dreves (oslabeledo) v obdobju 1995–2022 za območje Slovenije (prikazane so le tiste vrste sečenj, katerih količina presega en odstotek celotnega poseka v proučevanem obdobju; v milijonih m³)

Figure 4: Depiction of the amount of tree felling by individual cause for protection-sanitation logging (VS) and felling of weakened trees (weakened) in the period 1995-2022 for the area of Slovenia (only those types of felling whose amount exceeds 1% of the total felling in the study period are shown; in millions of m³)

dreves), sledijo drugi razlogi (26 %), veter (11 %), insekti (5 %) in žled (4 %). Pri dobi za razliko od gradna kot vzrok za varstveno-sanacijski posek in posek oslabelega drevja prevladujejo biotski dejavniki (približno 48 % celotne varstveno-sanacijske sečnje in poseka oslabeleli dreves). Velik delež poseka, evidentiranega kot ,drugo (varstveno-sanacijsko)‘ in ,drugo (oslabele)‘, bi lahko verjetno vsaj delno šteli tudi med biotske dejavnike. Kot škodljiv dejavnik je namreč pri omenjenih kategorijah pri približno polovici posekanega lesa določena kompleksna bolezen, kar pomeni kombinacijo različnih biotskih in abiotskih dejavnikov. Abiotski dejavniki so kot vzrok za varstveno-sanacijsko sečnjo in posek oslabeleli dreves evidentirani pri približno 8 % celotne varstveno-sanacijske sečnje in poseka oslabeleli dreves.

Pri sami obravnavi evidence Zavoda za gozdove Slovenije pa moramo vseeno upoštevati, da obravnava evidentiranih podatkov o vzrokih za posek

ne da povsem natančne slike dejanskega vzroka za samo oslabeitev oz. odmrtje drevesa, pač pa le vzrok za posek. Tako je bilo posamezno drevo morda že oslabiljeno zaradi gliv ali insektov, neki abiotski dejavnik (npr. žled) pa drevo podre in je kot vzrok za posek v evidenco in je kot vzrok za posek v evidenco vnešen nek najočitnejši škodljiv dejavnik, čeprav bi neoslabiljeno drevo morda vpliv abiotskega dejavnika preživel manj poškodovano in ga še ne bi bilo treba posekati. Pri dobi smo iz pregledane literature (tudi domačih raziskav) lahko ugotovili, da je suša poglavitni sprožilni dejavnik in dejavnik predispozicije, v evidenci poseka pa suša kot škodljiv dejavnik praktično skoraj ni evidentirana. Verjetno je vzrok v prej omenjenem – morda je suša drevo bistveno oslabila, nato so se drevesa lotili še sekundarni škodljivi organizmi (žuželke, glive), ki jih je gozdar prepoznal kot vzrok za slabo stanje drevesa in jih v evidenco vnesel kot vzrok za posek.



Slika 5: Prikaz količine poseka doba glede na posamezne vzroke za varstveno-sanacijsko sečnjo (VS) in posek oslabeleli dreves (oslabele) v obdobju 1995–2022 za območje Slovenije (prikazane so le tiste kategorije, katerih količina presega en odstotek vsote vse varstveno-sanacijske sečnje in poseka oslabeleli dreves v proučevanem obdobju; v tisočih m³)

Figure 5: Depiction of the volume of harvesting by cause for the period 1995–2022 for the area of Slovenia (only those categories whose volume exceeds 1% of the sum of all salvage logging and harvesting of weak trees in the study period are shown; in thousands of m)

7 POVZETEK

Namen raziskave je bil s pregledom domače in tuje literature določiti najpomembnejše abiotске in biotske dejavnike za odmiranje doba (*Q. robur*) in gradna (*Q. petraea*) v Evropi ter pri nas in jim določiti nivo v spirali propadanja (dejavniki predispozicije, sprožilni dejavniki in dodatni dejavniki). Pregledu literature je sledila analiza podatkov Zavoda za gozdove Slovenije o poseku gradna in doba v obdobju 1995–2022 na območju Slovenije. Po pregledu literature smo ugotovili, da na odmiranje gradna in doba vpliva kompleks abiotских in biotskih škodljivih dejavnikov. Kot poglavitni dejavnik predispozicije in hkrati tudi sprožilni dejavnik je v literaturi najpogosteje omenjen sušni stres, katerega vpliv postaja vedno večji z višanjem povprečne temperature zraka in zmanjševanjem količine padavin oziroma njihove neenakomerne porazdelitve (posledica spreminjanja podnebja). Od biotskih dejavnikov pa se v glavnem omenja različne vrste gliv: predvsem različne vrste gliv in fitoflor ter vnos najrazličnejših tujerodnih vrst, katerim se s spreminjanjem podnebja povečujejo možnosti za uspešno naturalizacijo in kasnejšo potencialno invazivnost, mednarodno oziroma medcelinsko trgovanje in turizem pa jim ponujata odlične možnosti za širjenje. V proučevanem obdobju sta varstveno-sanacijski posek in posek oslabelega drevja pri dobu znašala kar približno 35 % skupne količine poseka oz. približno 204.000 m³, pri gradnu pa približno 27 % oz. približno 1.109.000 m³.

7 SUMMARY

The aim of this study was to determine the most important abiotic and biotic factors that contribute to the decline of sessile (*Quercus robur*) and pedunculate oak (*Q. petraea*) in Europe and in Slovenia and to determine their role in Manion's decline disease spiral (predisposing, inciting and contributing factors) by reviewing the scientific literature. To further determine the situation of sessile and pedunculate oak in Slovenia we analysed the data from Slovenian Forest Service regarding the felling of both oaks in the period from 1995 to 2022. After the literature review we concluded that the decline phenomena

of sessile and pedunculate oak is caused by a complex of biotic and abiotic factors. As the main predisposing and at the same time inciting factor in sessile and pedunculate oak decline the literature mentions drought that is being enhanced with the changing climate. From biotic factors different species of fungi, phytophthora and introduced species (with increased chances of intercontinental migration, because of global transport and tourism, and successful naturalisation (with therefore increased chances of becoming invasive), as a result of changing climate) are mentioned. The sanitation felling of sessile oak in analysed period accounted for approximately 35 % (204,000 m³) of all felling of sessile oak and the sanitation felling of pedunculate oak accounted for approximately 27 % (1,109,000 m³) of all felling of pedunculate oak.

8 ZAHVALA

8 ACKNOWLEDGEMENT

Prispevek je del magistrskega dela prvega avtorja z naslovom Pregled odmiranja hrastov v Evropi in pri nas. Zahvalili bi se recenzentki magistrskega dela prof. dr. Maji Jurc za koristne dopolnitve, Mariji Kolšek in Gregorju Senegačniku z Zavoda za gozdove Slovenije pa za posredovanje podatkov o poseku hrastov v Sloveniji.

Prvi avtor se zahvaljujem Pahernikovi ustanovi za prejeta finančna sredstva v obliki štipendije. Drugi avtor je delo pri prispevku opravil v okviru Javne gozdarske službe na Gozdarskem inštitutu Slovenije, ki jo financira Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.

9 VIRI

9 REFERENCES

- Bončina A., Rozman A., Dakskobler I., Klopčič M., Babji V., Poljanec A. 2021. Gozdni rastiščni tipi Slovenije: vegetacijske, sestojne in upravljalvske značilnosti. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Zavod za gozdove Slovenije.
- Brady C., Arnold D., McDonald J., Denman S. 2017. Taxonomy and identification of bacteria associated with acute oak decline. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 33, 143. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2296-4>

- Broadmeadow M.S.J., Jackson S.B. 2008. Growth responses of *Quercus petraea*, *Fraxinus excelsior* and *Pinus sylvestris* to elevated carbon dioxide, ozone and water supply. *New Phytologist*, 146, 3: 437–451. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00665.x>
- Büttner C., Führling M. 1996. Studies on virus infection of diseased *Quercus robur* (L) from forest stands in northern Germany. *Annales des sciences forestières*, 53, 2–3: 383–388. <https://hal.science/hal-00883060/document> (21. 6. 2023).
- Cochard H.H., Bréda N., Granier A.A., Aussenac G. 1992. Vulnerability to air embolism of three European oak species (*Quercus petraea* (Matt) Liebl, *Q. pubescens* Willd, *Q. robur* L). *Annales des sciences forestières*, 49, 3: 225–233. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00882799/document> (8. 1. 2023).
- Cochard H.H., Bréda N., Granier A.A. 1996. Whole tree hydraulic conductance and water loss regulation in *Quercus* during drought: evidence for stomatal control of embolism?. *Annales des sciences forestières*, 53, 2–3: 197–206. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00883043/document> (8. 1. 2023).
- Copolovici L., Pag A., Kännaste A., Bodescu A., Tomescu D., Copolovici D., Soran M.–L., Niinemets Ü. 2017. Disproportionate photosynthetic decline and inverse relationship between constitutive and induced volatile emissions upon feeding of *Quercus robur* leaves by large larvae of gypsy moth (*Lymantria dispar*). *Environmental and Experimental Botany*, 138: 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.03.014>
- Čater M. 1998. Nekateri ekofiziološki kazalci stresa pri dobu (*Quercus robur* L.) v severovzhodni Sloveniji (Murska šuma): magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire.
- Čater M., Batič F. 1999. Nekateri ekofiziološki kazalci stresa pri dobu (*Quercus robur* L.) v severovzhodni Sloveniji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 58: 47–83. <http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-UEWAVE6R> (12. 5. 2023).
- de Groot M., Kolšek M., Veenfliet J.K., Kutnar L., Malovrh J., Ogris N., Rantaša B., Rozman S. 2017. Tujerodne vrste v slovenskih gozdovih. Ljubljana, Založba *Silva Slovenica*, Gozdarski inštitut Slovenije.
- Denman S., Barrett G., Kirk S.A., McDonald J.E., Coetzee M.P.A. 2017. Identification of *Armillaria* species on declined oak in Britain: implications for oak health. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 90, 1: 148–161. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw054>
- Dogar V. 2021. Vpliv okoljskih dejavnikov na rast doba (*Quercus robur* L.) v porečjih Mure in Krke: diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=128446> (12. 5. 2023).
- Doležal J., Mazúrek P., Klimešová J. 2010. Oak decline in southern Moravia: the association between climate change and early and late wood formation in oaks. *Preslia*, 82: 289–306. <https://www.preslia.cz/article/pdf?id=212> (16. 1. 2023).
- Ducousso A., Bordacs S. 2010. EUFORGEN. Tehnične smernice za ohranjanje in rabo genskih virov: Dob in graden (*Quercus robur/Quercus petraea*). Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Silva Slovenica. https://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Countries/Slovenia/Technical_guidelines/Quercus_robur-petraea_SVN.pdf (22. 12. 2022).
- EPPO, 2000. Mini data sheet on *Phytophthora quercina*. European and Mediterranean Plant Protection Organization. <https://gd.eppo.int/taxon/PHYTQU/documents> (20. 1. 2023).
- Fellner R., Pešková V. 1995. Effects of industrial pollutants on ectomycorrhizal relationships in temperate forests. *Canadian Journal of Botany*, 73, 1: 1310–1315. <https://doi.org/10.1139/b95-392>
- Forest Condition in Europe: the 2020 assessment: ICP Forests technical report under the UNECE convention on long-range transboundary air pollution (Air Convention). Eberswalde, Thünen Institute. https://www.icp-forests.org/pdf/ICPForests_TR2020.pdf (10. 12. 2022).
- Gibbs J., Greig B. 1997. Biotic and abiotic factors affecting the dying back of pedunculate oak *Quercus robur* L. *Forestry*, 70, 4: 399–406. <https://doi.org/10.1093/forestry/70.4.399>
- Gieger T., Thomas F.M. 2005. Differential response of two Central-European oak species to single and combined stress factors. *Trees*, 19: 607–618. <https://doi.org/10.1007/s00468-005-0424-5>
- Glavendekić M.M., Medarević M.J. 2010. Insect defoliators and their influence on oak forests in the Djerdap national park, Serbia. *Archives of Biological Sciences*, 62, 4: 1137–1141. <https://doi.org/10.2298/ABS1004137G>
- Haavik L.J., Billings S.A., Guldin J.M., Stephen F.M. 2015. Emergent insects, pathogens and drought shape changing patterns in oak decline in North America and Europe. *Forest Ecology and Management*, 354: 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.019>
- Hajji M., Dreyer E., Marçais B. 2009. Impact of *Erysiphe alphitoides* on transpiration and photosynthesis in *Quercus robur* leaves. *European Journal of Plant Pathology*, 125: 63–72. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9458-7>

- Halmschlager E., Kowalski T. The mycobiota in nonmycorrhizal roots of healthy and declining oaks. *Canadian Journal of Botany*, 82, 10: 1446–1458. <https://www.proquest.com/docview/218576660?parentSessionId=XFyLCbadmz%2FWfSmVTRX1NYO n%2BMrxsU94BqymNQPjaZM%3D> (24. 1. 2023).
- Harapin M., Jurc M., 2000. A study of important entomofauna in oak forests of Slovenia. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 61: 75–93. <https://dirros.openscience.si/IzpisGradiva.php?id=7420>.
- Hoch G., Stemmelen A., Csaba Béla E., Hinterstoisser W., Lanščak M., Stojnić S., Tóth M., Westergren M., Zidar S., Zlatković M., Zoric N. in De Groot M. 2024. Infestation intensity by the invasive oak lace bug, *Corythucha arcuata* (Say) in mixed and pure oak stands. *Journal of applied entomology*, 148, 1: 26–33.
- Jagodic Š. 2016. Vpliv hidror regulacij na debelinsko rast hrasta doba (*Quercus robur* L.) v Murski šumi: diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo.
- Jump A.S., Ruiz-Benito P., Greenwood S., Allen C.D., Kitzberger T., Fensham R., Martínez-Vilalta J., Lloret Francisco. 2017. Structural overshoot of tree growth with climate variability and the global spectrum of drought-induced forest dieback. *Global Change Biology*, 23: 3742–3757. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>
- Jung T., Blaschke H., Neumann P. 1996. Isolation, identification and pathogenicity of *Phytophthora* species from declining oak stands. *European Journal of Forest Pathology*, 26, 5: 253–272. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.1996.tb00846.x>
- Jung T., Cooke D.E.L., Blaschke H., Duncan J. M., Oßwald W. 1999. *Phytophthora quercina* sp. nov., causing root rot of European oaks. *Mycological Research*, 103, 7: 785–798. <https://doi.org/10.1017/S0953756298007734>
- Jung T., Blaschke H., Oßwald W. 2008. Involvement of soilborne *Phytophthora* species in Central European oak decline and the effect of site factors on the disease. *Plant Pathology*, 49, 6: 706–718. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2000.00521.x>
- Jung T., Orlikowski L., Henricot B., Abad-Campos P., Aday A.G., Aguín Casal O., Bakonyi J., Cacciola S.O., Cech T., Chavarriaga D. in sod. 2015. Widespread *Phytophthora* infestations in European nurseries put forest, semi-natural and horticultural ecosystems at high risk of *Phytophthora* diseases. *Forest Pathology*, 46, 2: 134–163. <https://doi.org/10.1111/efp.12239>
- Jurc D. 1999. Bolezni in sušenje hrastov v Evropi in pri nas. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije. <https://www.zdravgozd.si/dat/pdp/Jurc2002.pdf> (1. 12. 2022).
- Jurc M., Jurc D. 2017. The first record and the beginning the spread of Oak lace bug, *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae), in Slovenia = Prvi nalaz i početak širenja hrastove mrežaste stjenice, *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae), u Sloveniji. *Šumarski list*, 9/10: 485–488. <https://www.sumari.hr/sumlist/pdf/201704850.pdf> (5. 6. 2023).
- Jurc M., Hauptman T., Pavlin R., Borkovič D. 2021. Kako varovati gozdne rezervate? 11. seminar in delavnica iz varstva gozdov, 1.–2. junij 2021, GIS in ZGS. <https://www.zdravgozd.si/dat/dogodki/183.pdf> (10. 5. 2023).
- Kavčič A., de Groot M. 2021. Hrastova čipkarka v Evropi. 11. seminar in delavnica iz varstva gozdov. 1.–2. junij 2021 (Zoom videokonferenčni sistem). Gozdarski inštitut Slovenije. <https://www.zdravgozd.si/dat/dogodki/191.pdf> (6. 2. 2023).
- Khan M.A., Ghouri A.M. 2011. Environmental pollution: its effects on life and its remedies. *Researcher world: Journal of Arts, Science & Commerce*, 2, 2: 276–285. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1981242 (13. 1. 2023).
- Kucherov S. 1989. The reconstruction of *Lymantria dispar* outbreaks by dendrochronological methods in the south Urals. *Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the U. S. S. R. Academy of Sciences*: 205–206. https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/gtr/gtr_ne153.pdf?page=218 (11. 6. 2023).
- Leblanc D.C., Loehle C. 1993. Effect of contaminated groundwater on tree growth: A tree-ring analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 24: 205–218. <https://doi.org/10.1007/BF00545978>
- Levanič T. 1993. Vpliv melioracij na rastne in prirastne značilnosti črne jelše (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), ozkolistnega jesena (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) in doba (*Quercus robur* L.) v Prekmurju: magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo.
- Manion P.D. 1981. *Tree disease concepts*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- Macháčová M., Nakládal O., Samek M., Bat'a D., Zumr V., Pešková V. 2022. Oak decline caused by biotic and abiotic factors in Central Europe: a case study from the Czech Republic. *Forests*, 13, 8, <https://doi.org/10.3390/f13081223>: 22 str.
- Marçais B., Desprez-Loustau M.-L. 2012. European oak powdery mildew: impact on trees, effects of environmental factors, and potential effects of climate change. *Annals of Forest Science* 71, 6: 633–642. <https://doi.org/10.1007/s13595-012-0252-x>
- Matić S. 1996: Uzgojni radovi na obnovi i njezi sastojina hrasta lužnjaka. V: *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*. Vinkovci, Zagreb, Hrvatska akademija znanosti I umjetnosti: 167–212.
- Maatyssek R., Sander mann H. 2003. Impact of ozone on trees: an ecophysiological perspective. *Progress*

- in Botany, 64: 349–404. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55819-1_15
- Milanović S., Mihajlović L., Karadžić D., Jankovsky L., Aleksić P., Janković-Tomanić M., Lazarević J. 2014. Effects of pedunculate oak tree vitality on gypsy moth preference and performance. Archives of Biological Sciences, 66, 4: 1659–1672. <https://radar.ibiss.bg.ac.rs/handle/123456789/2265> (18. 1. 2023).
- Moraal L., Hilszczanski J. 2000. The oak buprestid beetle, *Agrilus biguttatus* (F.) (Col., Buprestidae), a recent factor in oak decline in Europe. Journal of Pest Science, 73, 5: 134–138. <https://doi.org/10.1007/BF02956447>
- Ocena kemijskega stanja voda v Sloveniji za načrt upravljanja voda 2022–2027: ocena za obdobje 2014–2019. 2022. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije, Agencija Republike Slovenije za okolje. https://www.arso.gov.si/vode/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Ocena%20KS%20voda%20v%20Sloveniji%20za%20NUV%202022%20-%202027_kon%c4%8dna.pdf (13. 1. 2023).
- Ogris N. 2010. Priročnik za določevanje vzrokov poškodb drevja: medmrežna različica. www.zdravgozd.si (18. 1. 2023).
- Paulin M., Hirka A., Eötvös Cs. B., Gáspár, Cs., Fürjes-Mikó Á., Csóka, Gy. 2020. Known and predicted impacts of the invasive oak lace bug (*Corythucha arcuata*) in European oak ecosystems – a review. Folia Oecologica, 47, 2: 131–139. DOI: <https://doi.org/10.2478/foecol-2020-0015>
- Pešková V. 2005. Dynamics of oak mycorrhizas. Journal of Forest Science, 51, 6: 259–267. <https://doi.org/10.17221/4562-JFS>
- Petritan A. M., Petritan I. C., Hevia A., Walentowski H., Bouriaud O., Sánchez-Salguero R. 2021. Climate warming predispose sessile oak forests to drought-induced tree mortality regardless of management legacies, 491, 119097. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119097>
- Prpić B. 1996. Propadanje šuma hrasta lužnjaka. V: Klepac D. (ur.). Hrast lužnjak u Hrvatskoj. Vinkovci, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Centar za znanstveni rad Vinkovci: 258–273.
- Prpić B. 2003. Utjecaj tehničkih zahvata u prostoru za nizinske šume. Šumarski list, 127, 5–6, 230–235.
- Reed K., Denman S., Leather S.R., Forster J., Inward D.J.G. 2017. The lifecycle of *Agrilus biguttatus*: the role of temperature in its development and distribution, and implications for Acute Oak Decline. Agricultural and Forest Entomology, 20, 3: 334–346. <https://doi.org/10.1111/afe.12266>
- Rust S., Roloff A. 2004. Acclimation of crown structure to drought in *Quercus robur* L.—intra- and inter-annual variation of abscission and traits of shed twigs. Basic and Applied Ecology, 5, 3: 283–291. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2004.03.003>
- Schaub M., Paoletti E. 2007. Introductory remarks to the special issue – XXII IUFRO World Congress, 2005 Brisbane – air pollution and climate change: a global overview of the effects on forest vegetation. Environmental Pollution, 147, 3. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.08.040>
- Selochnik N., Pashenova N., Sidorov E., Linnakoski R., Wingfield M. 2014. *Ophiostoma* spp. and their roles in oak decline in the Tellerman Forest (Russia). International Mycological Congress (IMC) Bangkok, Thailand. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10719.87201>
- Sohar K., Helama S., Läänelaid A., Raisio J., Tuomenvirta H. 2014. Oak decline in a southern Finnish forest as affected by a drought sequence. Geochronometria, 41: 92–103. <https://doi.org/10.2478/s13386-013-0137-2>
- Thomas F.M. 2000. Growth and water relations of four deciduous tree species (*Fagus sylvatica* L., *Quercus petraea* [Matt.] Liebl., *Q. pubescens* Willd., *Sorbus aria* [L.] Cr.) occurring at Central-European tree-line sites on shallow calcareous soils: physiological reactions of seedlings to severe drought. Flora, 195, 2: 104–115. [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30958-1](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30958-1)
- Thomas F.M., Blank R., Hartmann G. 2002. Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. Forest Pathology, 32: 277–307.
- Thomas F.M., Meyer G., Popp M. 2004. Effects of defoliation on the frost hardiness and the concentrations of soluble sugars and cyclitols in the bark tissue of pedunculate oak (*Quercus robur* L.). Annals of Forest Science, 61, 5: 455–463. <https://doi.org/10.1051/forest:2004039>
- Thomas F.M. 2008. Recent advances in cause-effect research on oak decline in Europe. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 3, 37: 1–12.
- Thomas F.M., Schafellner C. 1999. Effects of excess nitrogen and drought on the foliar concentrations of allelochemicals in young oaks (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* [Matt.] Liebl.). Journal of Applied Botany - Angewandte Botanik, 73: 222–227. https://www.researchgate.net/publication/236200616_Effects_of_excess_nitrogen_and_drought_on_the_foliar_concentrations_of_allelochemicals_in_young_oaks_Quercus_robur_L_and_Q_petraea_Matt_Liebl (8. 1. 2023).
- Townsend M. 2013. Oak processionary moth in the United Kingdom. Outlooks on Pest Management, 24, 1: 32–38. https://doi.org/10.1564/v24_feb_10

- Vettrai A.M., Barzanti G.P., Bianco M.C., Ragazzi A., Capretti P., Paoletti E., Luisi N., Anselmi N., Vannini A. 2002. Occurrence of *Phytophthora* species in oak stands in Italy and their association with declining oak trees. *Forest Pathology*, 32, 1: 19–28. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0329.2002.00264.x>
- Wagenhoff E., Veit H. 2011. Five years of continuous *Thaumetopoea processionea* monitoring: tracing population dynamics in an arable landscape of south-western Germany. *Gesunde Pflanzen*, 63: 51–61. <https://doi.org/10.1007/s10343-011-0244-z>
- Willig M.R., Presley S. J. 2018. Latitudinal Gradients of Biodiversity: Theory and Empirical Patterns. *Encyclopedia of the Anthropocene*, 3: 13–19. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09809-8>
- Winter T.G. 2012. Oak defoliation. *Arboriculture Research Note*. Arboricultural Advisory & Information Service. <http://www.trees.org.uk/Trees.org.uk/files/50/50d40447-3f9c-4d4c-9632-e94dc1104a99.pdf> (5. 6. 2023).
- Zorić N., Franjević M., Matošević D. Further Spread of *Corythucha arcuata* (Hemiptera; Tingidae) in Croatia. *South-east European forestry*, 14, 1: 111–115. <https://doi.org/10.15177/see-for.23-06>
- Zweifel R., Steppe K., Sterck F.J. 2007. Stomatal regulation by microclimate and tree water relations: interpreting ecophysiological field data with a hydraulic plant model. *Journal of Experimental Botany*, 58, 8: 2113–2131. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm050>