

Utjecaj klimatskih promjena na širenje i štetnost gljive *Sphaeropsis sapinea*

Ališić, Tin

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:564609>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-07**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE

ŠUMARSKI ODSJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ ŠUMARSTVO

ZAVRŠNI RAD

Utjecaj klimatskih promjena

na širenje i štetnost

gljive *Sphaeropsis sapinea*

TIN ALIŠIĆ

Zagreb, rujan 2023.

SAŽETAK

Patogena gljiva *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et Sutton glavni je uzročnik šteta na borovima (*Pinus* sp.), rjeđe na drugim crnogoričnim vrstama. Posljednjih trideset godina zaslužna je za sušenje kultura crnog bora (*Pinus nigra* Arnold) na području Hrvatske (Istra), kao i mnogim europskim državama. Sam patogen je detaljno istraživani, no još uvijek nisu poznati svi čimbenici koji sudjeluju u širenju i štetnosti zaraza. Jedan od najvažnijih čimbenika koji stvara predispoziciju borova na zarazu sa *Sphaeropsis sapinea* je vodni stres, ali i promjena temperature, vremenske nepogode i utjecaj staništa. U slučaju jačeg napada gljive na stablo, dolazi do odumiranja grana u krošnji ili cijelih stabala.

SADRŽAJ:

1	UVOD	.....	4
2	OBILJEŽJA VRSTE <i>Sphaeropsis sapinea</i> (Fr.) Dyko et Sutton	.....	5
2.1	BILOGIJA GLJIVE	.....	6
2.2	ŠIRENJE I RAZVOJ GLJIVE	.....	6
2.3	RASPROSTRANJENOST GLJIVE U HRVATSKOJ I SVIJETU	.....	8
2.3.1	HRVATSKA	.....	8
2.3.2	EUROPA I SVIJET	.....	10
3	KLIMATSKE PROMJENE I NJIHOV UTJECAJ NA ŠIRENJE I ŠTETNOST GLJIVE <i>Sphaeropsis sapinea</i>	.....	12
4	MJERE ZAŠTITE	.....	15
5	ZAKLJUČAK	.....	16
6	LITERATURA	.....	17

1. UVOD

Gljiva *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et B.Sutton (u daljnjem tekstu *Sphaeropsis sapinea*) je biljni patogen koji napada razne vrste četinjača diljem svijeta, uključujući bor, smreku i jelu. Poznato je da uzrokuje ozbiljne štete na šumskim ekosustavima i šumarskoj industriji gdje utječe na kvalitetu drva i smanjuje vrijednost šumskih proizvoda.

Klimatske promjene značajan su izazov za okoliš koje utječu na razne prirodne ekosustave. Rastom temperature i promjenama u obrascima padalina ovaj patogen može preživjeti u regijama gdje to prije nije bilo moguće, budući da razdoblja suše ili viška vlage mogu izazvati stres za stabla i učiniti ih osjetljivijima. Sve to dovodi do povećane učestalosti infekcija ovim patogenom, što bi moglo uzrokovati značajne posljedice na bioraznolikosti i smanjenom produktivnosti šuma. Povećanje temperature i koncentracija ugljičnog dioksida pogoduju rastu i razvoju drveća istovremeno približavajući se optimalnim vrijednostima za razvoj ovog patogena. (European Environment Agency 2017)

Posljednjih trideset godina *Sphaeropsis sapinea* odgovorna je za sušenje kultura crnog bora (*Pinus nigra* Arn.) na području Hrvatske, naročito u Istri. Bolest se također javlja na području Europe i u drugim dijelovima svijeta. Sam patogen je detaljno istraživano no još uvijek nisu poznati svi čimbenici koji sudjeluju u širenju i štetnosti zaraza. (Zgrablić Ž. 2015)

Jedan od najvažnijih čimbenika koji stvara predispoziciju borova na zarazu sa gljivom *Sphaeropsis sapinea* je vodni stres (Diminić, 2012), ali i promjena temperature, vremenske nepogode te utjecaj staništa i ostalih biotskih i abiotskih čimbenika.

Ovaj rad ima za cilj doprinjeti sveobuhvatnom pregledu utjecaja klimatskih promjena na širenje i štetnost gljive *Sphaeropsis sapinea*. Točnije, istražiti će kako promjene temperature, padalina i drugih klimatskih čimbenika mogu pridonijeti negativnom utjecaju ove gljive na šumske ekosustave prema dostupnoj znanstvenoj i stručnoj literaturi. Konačno, razmotriti će strategije koje se mogu koristiti za ublažavanje utjecaja ovog patogena u kontekstu klimatskih promjena. Te strategije uključuju prilagođene šumske prakse upravljanja, ranog otkrivanja i kontrole te razvoja otpornih vrsta drveća.

2. OBILJEŽJA VRSTE *Sphaeropsis sapinea*

Tablica 1. Taksonomija gljive *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et Sutton prema Hibbett (2007.)

Carstvo	<i>Fungi</i>
Odjeljak	<i>Ascomycota</i>
Pododjeljak	<i>Pezizomycotina</i>
Razred	<i>Dothideomycetes</i>
Red	<i>Botryosphaeriales</i>
Porodica	<i>Botryosphaeriaceae</i>
Rod	<i>Sphaeropsis</i>
Vrsta	<i>Sphaeropsis sapinea</i>

Ovaj patogen prvi put je opisao E.M. Fries kao *Sphaeria sapinea* kada je istraživao uzorke dijelova zaraženih stabala rodova *Pinus* sp. i *Abies* sp. u Švedskoj 1822. godine. Naknadno je ime više puta izmjenjeno: *Botryodiplodia pinea* (Desmazières i Petrák), *Diplodia conigena* (Desmazières), *Diplodia pinastri* (Grove), *Diplodia pinea* (J.Kickx), *Macrophoma pinea* (Petrák i Sydow), itd. (EPPO Global database 2002)

Sphaeropsis sapinea (Fr.) Dyko et Sutton, kako ju danas nazivamo, je prepoznata kao najrasprostranjeniji pertofitni askomicetni patogen odgovoran za dramatične gubitke borovih šuma po svim kontinentima. Fiziološki oslabljena stabla svih dobnih razreda u riziku su od napada gljive koja napada većinu vrsta iz roda *Pinus* te ju također nalazimo na vrstama rodova *Abies*, *Cedrus*, *Picea* itd. Najosjetljiviji na napad ove gljive su crni bor (*Pinus nigra* Arn.) i kalifornijski bor (*Pinus radiata* Don.) (Diminić 1993)

Tablica 2. Nazivi ove gljive na različitim jezicima

GOVORNO PODRUČJE	NAZIV
Englesko	Diplodia Tipblight
Njemačko	Diplodia-Triebsterben
Francusko	Dépérissement des pousses du pin
Španjolsko	Marchitez de los brotes del pino



Slika 1. i 2. Simptomi zaraze patogenom gljivom *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et Sutton

2.1. Biologija gljive

Sphaeropsis sapinea spada u pododjel *Deuteromycotina* (*Fungi imperfecti*) te joj je poznat samo imperfektni stadij. Ovaj patogen se razmnožava aseksualno što za rezultat ima malu genetičku raznovrsnost među subpopulacijama. Ipak, različitost u virulenciji i patogenosti između različitih uzoraka iste subpopulacije su nađeni u Njemačkoj (Buskamp i Langer 2021).

Plodna tijela ove gljive su vrčaste crne piknide koje se pojavljuju na iglicama, kori izbojaka grana i debla te se mogu nalaziti i na štitićima ljsaka češera i korjenu. Piknide su uložene u tkivu spomenutih biljnih organa, a mogu biti separirane ili agregirane. Te piknide se mogu lako prepoznati od travnja do listopada, odnosno tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja. Zreli češeri podložni su ovoj bolesti i često sadržavaju mnoga plodna tijela (piknide) na svojim ljuskama te se smatraju glavnim izvorom inokuluma. (Glavaš i Diminić, 2011)

2.2. Širenje i razvoj gljive *Sphaeropsis Sapinea*

Tijekom proljeća, piknide stvaraju nespodne spore (konidije) koje inficiraju mlade izbojke. Konidije se šire kroz konidijalne disperzije gdje se ispuštaju u zrak od proljeća do jeseni, a prenose se putem vjetra, vodenih kapi, kukaca itd. Konidije su ovalne i mogu varirati u veličini 30-45 x 10-16 nanometara (Sutton 1980; Sutton i Dyko 1989.).

Ova gljiva je pertofit koji svojim toksinima primarno usmrćuje stanice kore, a zatim ih naseljava svojim micelijem. Širi se kroz koru zaraženih izbojaka te nastavlja rasti kroz zrakaste stanice drva sve do srži. Iz srži hife gljive rastu šireći se kroz primarne zrake srčike. Ukoliko je domaćin izložen vodnom stresu, naročito sušama, može doći do učestalih infekcija na istom stablu. knjiga

Postoje tri načina ulaska gljive u domaćina:

- Prvi način je ulazak kroz neozljeđeno zdravo tkivo koje može postati inficirano u proljeće ili rano ljeto prilikom izbivanja pupova i elongacije tkiva kada gljiva probija nelignificirane stanične stijenke tkiva bora (Blodgett 1996)
- Drugi način odnosi se na širenje gljive iglicama kroz puči gdje ulazi u domaćina što rezultira sušenjem ovogodišnjih mladih izbojaka. (Roy 2022)
- Treći način je inficiranje kroz mehanički ozljeđena tkiva domaćina koja mogu nastati prilikom napada kukaca, tuče i dr. (Zgrablić 2015)

TROFIČKE FAZE

Tijekom svog životnog ciklusa *Sphaeropsis sapinea* se može pojaviti u nekoliko trofičkih faza.

Asimptomatska (latentna) endofitska faza

Ova faza predstavlja uravnotežen odnos gljive i domaćina. Endofiti su mikrobi koji žive u tkivu domaćina cijeli ili značajan dio životnog ciklusa bez uzrokovanja vidljivih negativnih simptoma (Diminić 2012.). Količina i bioraznolikost endofita je određena vrstom domaćina, vrstom organa u kojem se nalazi, starosti tkiva, zdravstvenom stanju domaćina, prostornom rasporedu stabala u sastojini te vegetacijom koja raste u blizini stabla. (Blumenstein 2021.) Bioraznolikost endofita razlikuje se kod mješovitih šuma, gdje je nešto veća nego u rasadnicima ili urbanim cjelinama.

Nekoliko studija indicira da gljivični endofiti mogu pojačati imunološki sustav domaćina i utjecati na obrambene mehanizme domaćina kao što je razvoj staničnih stijenki ili konkurencija drugim patogenima. Prilikom promjene u stanišnim uvjetima kao na primjer suše, povišene temperature staništa ili tuče, dolazi do fiziološkog slabljenja domaćina. Povišena temperatura koja pogoduje razvoju gljive *Sphaeropsis sapinea* uvelike olakšava prelazak iz endofitske u parazitsku fazu. Kada suša fiziološki oslabi domaćina, *Sphaeropsis sapinea* bi mogla nadvladati ostale endofite na način da brže okupira tkiva domaćina. (Blumenstein 2021.)

Parazitska faza

Sphaeropsis sapinea je oportunistički patogen te napada živa biljna tkiva fiziološki oslabljenih stabala. Kao posljedica širenja gljive *Sphaeropsis sapinea* u oboljeloj kori krošnje borova, uočavaju se tipični simptomi odumiranja grana od vrha najmlađih izbojaka (Diminić, 2012.). uzrokuje sušenje grana do baze, ozljede tkiva i konačno smrt stabla. Fiziološke promjene na inficiranom stablu su defolijacija, smanjena asimilacija ugljika i nutrijenata te gubitak hidrauličke konduktivnosti u fotosintetskim procesima. Ti simptomi mogu biti uočeni na stablima različite starosti pojedinačno ili u grupama. Borovi mlađi od 30 godina su otporniji na napad ove gljive. (Jactel 2012)

Karakteristično je da su simptomi vidljivi prvo na najmlađim vršnim izbojcima te napreduju prema bazi grana. Vidljivi simptomi parazitske faze uključuju: kloroza, nekroza i osip iglica, inhibicija razvoja najmlađih iglica, ukrivljavanje mladih izbojaka, prorjeđenost krošnje radi sušenja grana, a rjeđe dijelova ili čitavih stabala, smanjenje prirasta, zatim rak debela, prstenasta trulež, bolest korijena, te plavilo živućih i oborenih stabala. (Glavaš i Diminić 2011) Jedna od važnih stavki u obrani borova od nametnika je produkcija smole na području infekcije, koja će biti donekle inhibirana nedostatkom vode u okolišu.

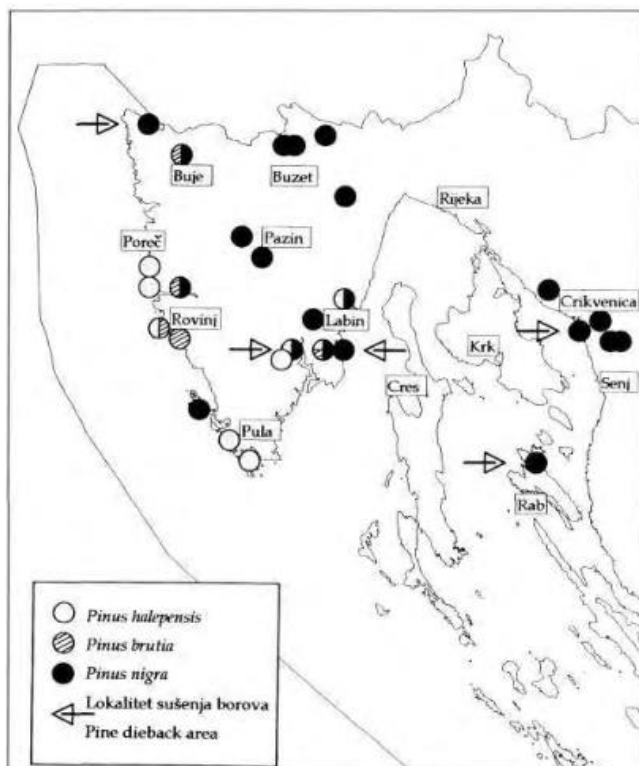
Saprotrofna faza

Saprotrofna faza gljive *Sphaeropsis sapinea* javlja se kada gljiva kolonizira mrtvi biljni materijal koji služi kao supstrat za razvoj gljive, a uključuje zaražene iglice, češere i grane. U ovoj fazi gljiva se hrani raspadajućom organskom tvari te ju razgrađuje i upija hranjive tvari. Saprotrofna faza neophodna je za preživljavanje ovog patogena i igra važnu ulogu u njezinom životnom ciklusu. Gljiva proizvodi i otpušta spore iz zaraženih biljnih ostataka, koje se zatim mogu širiti vjetrom, kišom ili putem kukaca. Ove spore kliju pod uvjetima povoljne vlage i temperature te dovode do infekcija novih domaćina. Razumijevanje saprotrofne faze važno je za kontrolu infekcija, budući da smanjenje dostupnosti zaraženog biljnog materijala može smanjiti proizvodnju i oslobađanje spora, posljedično smanjujući širenje bolesti. (Blumenstein 2021)

2.3. Rasprostranjenost gljive u Hrvatskoj i Svijetu

2.3.1. Hrvatska

Ovu gljivu u Hrvatskoj prvi puta je opisao Bohm 1959. prilikom pregleda rasadnika Šumarije Krnjak u Bosiljevu kada se osušilo 60% jednogodišnjih sadnica crnog bora (*Pinus nigra* Arnold)



Godine 1990.-1992. provedena su istraživanja na kulturama alepskog (*Pinus halepensis* Mill.) i crnog bora (*Pinus nigra* Arnold) u Istri te je utvrđeno da se gljiva *Sphaeropsis sapinea* najčešće pojavljuje na najmlađim iglicama i izbojcima iz krošnje. 1991. dolazi do suše i napada ove fitopatogene gljive što je posljedično dovelo do dramatičnih sušenja kultura crnog bora u Istri.

Posebna pozornost ovoj gljivi posvećuje se od 1992. godine kada su zabilježena značajna odmiranja stabala crnog bora na području Istre. Novijim istraživanjima dokazana je korelacija nedostatka hranjiva u tlu i inteziteta napada ove gljive.

Slika 3. Prikaz lokaliteta sušenja borova u Istri

Nakon propadanja šuma Istarskog područja pod Mletačkom republikom, 1860.-ih dolazi do izrade plana za pošumljavanje. Glavna vrsta za pošumljavanje je crni bor, čija je izražena ekološka funkcija stvaranje tla i zaštita od erozije. S obzirom da crni i alepski bor ne pridolaze prirodno u Istri, istraživane monokulture su izložnije štetnim biotskim i abiotskim utjecajima. *Sphaeropsis sapinea* utvrđena je kao najštetnija fitopatogena gljiva za crni bor te je na području Uprave šume Buzet procjenjena oštećenost borova preko 50 %. Zračno zagađenje, suša i niske temperature fiziološki oslabljuju borove koji postaju podložni zarazi ovom gljivom. (Diminić 1994.). Daljnjim istraživanjem Diminića 1994. o mikoza crnog bora na Crikveničko Vinodolskom području, dokazano je da su simptomi sušenja izraženiji na mlađim borovima bliže obali. Također utvrđen je sinergija između gljive *Sphaeropsis sapinea* i insekata roda *Ernobius* sp. (drvaš kuckar).

Istraživanjem mikoza borovih kultura u Istri utvrđena je gljiva na alepskom, brucijskom i crnom boru (Diminić 1994.).

Godine 1996. Diminić provodi procjenu fiziološkog stanja borovih kultura te se pojavljuju tipični simptomi sušenja vršnih najmlađih izbojaka različitih dijelova krošnje, 30% je osušenih stabala na lokaciji Prtlog. Iako je *Sphaeropsis sapinea* zabilježena u svim kulturama, različiti utjecaji klime i staništa (jaka bura i posolica) doveli su do sušenja dijela kultura crnog bora.

Utvrđeno je da tip tla uvjetuje fiziološko stanje kultura crnog bora u Istri (Diminić 2004.). Kulture podignute na rendzini bile su dobrog zdravstvenog stanja te na njihovim iglicama gljiva nije pronađena.

Godine 2009. M Pernek opisao je osipanje i sušenje alepskog, primorskog i crnog bora. Istaknuo je povoljne klimatske prilike, te poziciju ili nedostatak bioelemenata i utjecaj požara na fiziološko stanje borova.

Godine 2012. M. Pernek, analizom klime ističe 2006. i 2008. kao godine visokih prosječnih godišnjih temperatura i malih količina padalina. Takvi klimatski ekstremi uzrokovali su stres na kulture borova u Istri. *Sphaeropsis sapinea* uzrokovala je osipanje iglica čime bor više slabi i biva napadnut od potkornjaka (*Tomicus destruens*).

Diminić 2012. govori o utjecaju matične podloge i tipa tla na ishranu borova. Dokazane su slične koncentracije nutrijenata u iglicama koje rastu na istoj matičnoj podlozi. Kalij utječe na opskrbljenost vodom i otpornost stabla na sušu i patogene, a dušik na fiziološko stanje bora i pojavnost gljive *Sphaeropsis sapinea*. Utjecaj dušika dokazan je primjenom amonijevog sulfata prilikom čega je povećan rast sadnica u visinu, ali i pojava dužih nekroza iglica. Optimalne vrijednosti dušika povezuju se s povećanom osjetljivošću biljaka na gljivične patogene. Najniže vrijednosti dušika i kalija zabilježene su u iglicama borova koji su rasli na tlima flišne matične podloge i nisu pokazivali simptome infekcije ovim patogenom. Na nekim lokacijama *Sphaeropsis sapinea* pronađena je na češerima i otpalim iglicama bez negativnog utjecaja na fiziološko stanje bora. Ovim istraživanjem dokazane su optimalne temperature za rast micelija od 20 - 25 stupnjeva Celzusa. (Diminić 2012.).

Žgrablić 2015. istražuje inokulaciju šumskih sadnica mikoriznim gljivama te kako one štite od uzročnika stresa i napada patogena. Inokulacijom šumskih sadnica razvijaju se otporne sastojine na biotski i abiotski utjecaj staništa te stabla postižu veće dimenzije. Razlog tome je jer su borovi obligatni simbionti s ektomikoriznim gljivama koje povećavaju površinu korijena čime pomažu većoj absorpciji vode i nutrijenata iz tla. Također ektomikorizna gljiva štiti domaćina od patogena korijena aktivno: inhibicijom, konkurencijom ili mehaničkim ili kemijskim onemogućavanjem patogena; ili pasivno: boljim zdravstvenim stanjem bora. U Hrvatskoj je otkriven morfotip A ove gljive koji je virulentan i rasprostranjen diljem Europe.

2.3.2. Europa i svijet

Ova vrsta pojavljuje se kao patogen u centralnoj Europi još od 1980. (Swart i Wingfield 1991) Bolest koju uzrokuje *Sphaeropsis sapinea* na sjeveru Europe predstavlja ozbiljnu prijetnju na borove šume i kulture, posebice crni bor (*Pinus nigra* Arnold) i kalifornijski bor (*Pinus radiata* Don.)

Studije u Njemačkoj pokazuju da *Sphaeropsis sapinea* ozbiljno narušava zdravstveno stanje šuma, koje su bile zabilježene sredinom 20. stojeća od Heydecka i Dahmsa te kasnije od Langer (Bußkamp 2020). Također, istraživanja koja provode Terhonen i dr. 2019. naglašavaju endofitsku prirodu ove gljive budući da je *Sphaeropsis sapinea* pronađena kao najčešći endofit u borovima različitih fizioloških stanja i dobi (Terhonen 2019)

U Estoniji je *Sphaeropsis sapinea* uočena 2007. na otpalim češerima crnog bora (*Pinus nigra* Arnold) (Hanso i Drenkhan 2009.). Uoči suše tijekom ljeta 2008. došlo je do vodnog stresa stabala što je potaknulo širenje infekcije na borove u raznim gradovima Estonije.

Oliva 2013. godine piše o pojavi ovog patogena u rezervatu prirode Fjällnora u Švedskoj. Epidemija koja je uočena u Švedskoj počela je kulminirati već prije deset godina, gdje su se inficirana stabla osušila u jednoj sušnoj sezoni. Uzrok tome bila je nagla promjena okolišnih uvjeta što je potaknulo tranziciju gljive u njenu patogenu fazu. Klimatske promjene kao što su visoke temperature zimi i kišna ljeta mogle bi postati učestalije i time utjecati na širenje ovog patogena prema sjevernim zemljama, te je ovo trenutno najsjevernija granica areala ove gljive.

Znanstvenici iz Finske izolirali su gljivu *Sphaeropsis sapinea* inkubacijom uzoraka grana zdravih asimptomatskih borova na sobnoj temperaturi 3 – 4 tjedna. Time su potvrdili da je ovaj patogen, na sjevernim granicama njegovog poznatog areala, u endotrofnoj trofičkoj fazi (Terhonen 2021). Ukoliko dođe do promjene stanišnih uvjeta, kao npr. povišena temperatura tijekom vegetacijskog perioda, ova gljiva bi mogla prijeći iz endofitske u parazitsku fazu te uzrokovati značajno odumiranje odraslih stabala. Također, ova gljiva je pronađena kao saprotrof na češerima u južnoj Finskoj 2015. i 2016. (Muller i dr. 2019 cit Terhonen 2021)

U istraživanju koje je proveo Roy 2022. uzorkovane su iglice sa simptomima ove bolesti od 200 – 2100 m n.v. sa francuskih Alpi te *Sphaeropsis sapinea* nije bila izolirana na visinama višim od 800 m. Dokazan je smanjen rast na nižim temperaturama iako ukoliko su prethodno izložene stresu na 35 stupnjeva celzijusa, povećan je rast gljive na optimalnom temperaturnom

rasponu. Visinska granica areala ovog patogena mogla bi se promijeniti ukoliko se promjene stanišni uvjeti na njenoj trenutnoj granici vertikalnog rasprostiranja.

Praćenjem stanja u Italiji Bussotti je 2022. istaknuo progresivno pogoršanje šuma sa značajnom tendencijom povećanja defolijacije i mortaliteta drveća u razdoblju 2010.-2022. Veće vrijednosti osutosti krošanja se podudaraju s godinama u kojima su zabilježeni toplinski valovi i suše (2012., 2017. i 2021.-22.). Takvi ekstremni klimatski događaji bili su popraćeni napadom parazita.

U istraživanju provedenom u Americi dokazana su 2 morfortipa izolata ove gljive koja se razlikuju u veličini i reljefu staničnih stijenki konidija te njihovoj virulenciji. Zrele konidije morfortipa A imaju glatku staničnu stijenku sa malom pigmentacijom. Ovaj morfortip je virulentan i zapaženo je da inficira neozljeđene mlade izbojke. Konidije morfortipa B imaju tamniju staničnu stijenku sa brojnim udubljenjima, te je gljiva tog morfortipa najčešće oportunistički patogen koji može napasti samo fiziološki oslabljena stabla (Wang 1985)



Slika 4. (lijevo) – piknide gljive *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et Sutton na iglicama

Slika 5. (desno) – poprečni presjek piknide pod mikroskopom

3. KLIMATSKE PROMJENE I NJIHOV UTJECAJ NA ŠIRENJE I ŠTETNOST GLJIVE *Sphaeropsis sapinea*

Klimatske promjene su dugoročne vremenske prilike na Zemlji uzrokovane globalnim zagrijavanjem. Klima na Zemlji je kroz prošlost oscilirala između toplih razdoblja i ledenih doba te je u zadnjih par desetljeća došlo do velikih promjena. Takvi ciklusi oduvijek traju desecima tisuća godina, dok posljednjih 150 godina (industrijsko doba) temperature rastu brže nego ikada. Klimatske promjene utječu na prirodne ekosustave kroz promjenu temperature i zagađenost zraka, količine padalina, jačine vjetra, radijaciju sunca, te na količinu snježnog pokrivača. Posljednjih se desetljeća u sredozemnoj regiji osjećaju teške posljedice smanjenja količine oborina i porasta temperature, a očekuje se da će se ti uvjeti dodatno pogoršavati usporedno s promjenama klime. Moguće promjene u stanišnim uvjetima koje će utjecati na fiziološko stanje šuma uključuju: suše, mehanička oštećenja od tuče, mraza, snijega, kukaca, onečišćenje tla kroz povišene depozicije amonijaka ili promjene koncentracije sumpora. Klimatske promjene pridonose češćim i intenzivnijim ekstremnim vremenskim uvjetima kao što su oluje, suša, toplinski valovi i šumski požari. Postoje velike regionalne razlike u tim prilikama, a neki su dijelovi svijeta teže pogođeni. Porast temperature utječe na topljenje ledene mase na polovima, što pak uzrokuje porast razine mora te dovodi do poplava i ugrožava priobalna područja (Linder 2009) Sinergijom navedenih čimbenika dolazi do slabljenja otpornosti šuma (borova) na napad gljive *Sphaeropsis sapinea*.

Trendovi u rastu globalne temperature indiciraju magnitudu klimatskih promjena i njenih mogućih utjecaja. Najveći uzrok rasta temperature je sagorijevanje fosilnih goriva kao što su nafta, ugljen i prirodni plin, uslijed čega dolazi do emisije stakleničkih plinova. Krčenje šuma smanjuje mogućnost apsorpcije stakleničkih plinova što dovodi do zadržavanja topline u atmosferi. Ta se pojava naziva efektom staklenika te direktno utječe na povećanje globalne temperature što je najvećim dijelom posljedica antropogenih aktivnosti.

Klimatsko modeliranje se koristi za predikciju budućih klimatskih promjena. Razumjevanje interakcija vrsta šumskog drveća sa prošlim klimatskim promjenama ključno je u prognoziranju budućeg stanja i stvaranja optimalnih strategija prilagodbe kroz uređivanje i uzgajanje šuma. (Badea 2021)

Glavna posljedica klimatskih promjena je povećanje globalne temperature planeta, koja se od predindustrijskog doba povećala za 1,1 °C. Razdoblje od 2010. – 2020. bilo je desetljeće iznimne globalne topline, s 2019. godinom kao drugom najtoplijom godinom u povijesti od kada se mjeri temperatura zraka. Ukoliko se trenutni trend zagrijavanja nastavi, temperature bi do kraja ovog stoljeća mogle porasti za 2.5-5 °C (Mikkonen 2015), što bi moglo imati katastrofalne posljedice za šumske ekosustave. Očekivano povećanje temperature iznosi 3 °C u centralnoj Europi te 4 – 5 °C u borealnoj regiji i Mediteranu. Temperatura zraka se svako desetljeće poveća u prosjeku za 0,2°C, a Europa se zagrijava brže od globalnog prosjeka. Naročito se zagrijava istočna Europa, Skandinavija i istočni dio Iberskog poluotoka, a najmanje zemlje Beneluxa, zapadna Francuska, Irska i Danska. U Španjolskoj se od 1950. vegetacijski period produljio za 3 – 6 tjedana, a u Italiji se izbijanje pupova pomaknulo 15 dana ranije u usporedbi sa 1960. godinom. Generalno se očekuje da će u budućnosti doći do smanjenja

vitalnosti i povećanog mortaliteta šuma. Povišena temperatura koja pogoduje rastu i razvoju gljive *Sphaeropsis sapinea* će značiti smanjenu otpornost domaćina na bolest kao rezultat brzih ciklusa bolesti (Spathelf 2014.) Ovoj gljivi pogoduje toplija klima, a optimalna temperatura za rast je 25-30 stupnjeva celzijusa (Milijašević 2006.)

U Hrvatskoj se prosječne temperature zraka smanjuju od otoka prema obali te od nižih prema višim nadmorskim visinama. Maksimalne vrijednosti temperature zraka izmjerene su u Stonu, Opuzenu, Pagu, Mljetu i Kninu te su iznosile više od 40 stupnjeva Celzijusa. Apsolutni maksimum izmjeren je u Pločama i iznosio 42,8 °C, a apsolutni minimum izmjeren je u Gračacu i iznosio je – 34,6 °C. Visoke temperature bi mogle utjecati na produkciju CO₂ iz biljaka zbog povećane evapotranspiracije, povećanu pojavu kiselih kiša te formaciju troposferskog ozona čime će se izazvati regionalna odumiranja drveća i smanjiti njihova učinkovitost u ponoru ugljika. (Proietti 2014)

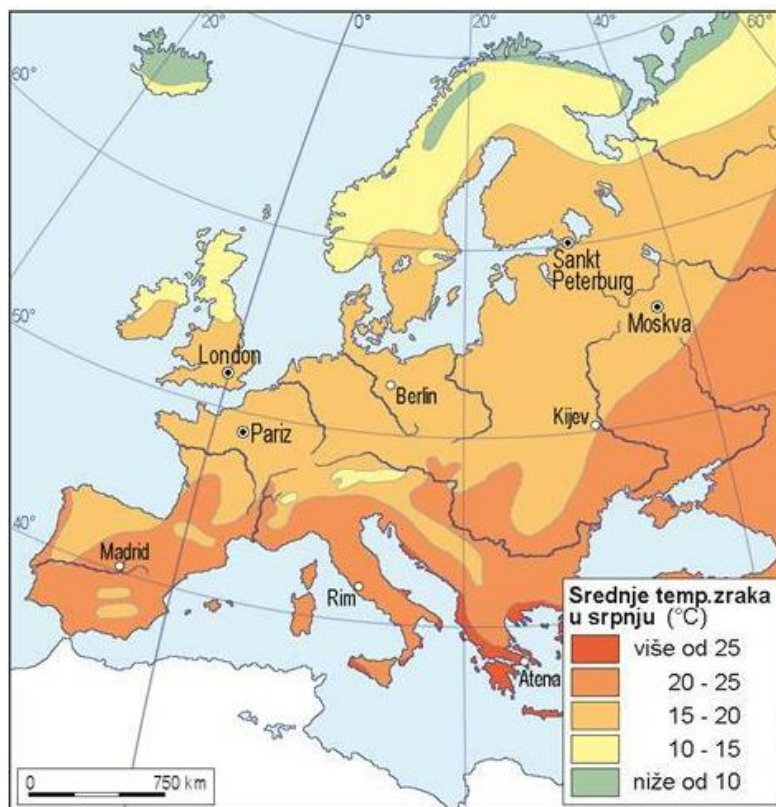
Prema 5. Nacionalnom izvješću Republike Hrvatske sukladno okvirnoj „Konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime“ koje je izdao Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), promjene ukazuju na smanjenje prosječnog broja dana sa snijegom, na povećanje broja vrućih dana te na manje povećanje broja dana sa značajnim oborinama u zimi. U primorskom dijelu Hrvatske i neposrednom zaleđu očekuje se smanjenje ukupne količine oborina u većem dijelu godine. Hrvatska se odlikuje umjerenom – toplom – kišnom klimom koja se dalje dijeli s obzirom na pojavu suhog razdoblja na dva podtipa – kontinentalna i sredozemna klima. (Pernek 2012)

Prema bioklimatskoj podjeli sredozemne Hrvatske područje stenomediterana je subhumidno, eumediterana humdno, a submediterana humidno i perhumidno. U razdoblju razvoja vegetacije padne između 32 i 49 % godišnje količine oborina. Jačina i učestalost pojedinog vjetra određuju tip vegetacije. (Seletković i Tikvić 2011)

U mediteranskoj regiji očekuju se veliki gubici u produktivnosti jer će voda postati ograničavajući čimbenik uoči čestih i jakih ljetnih suša. Uslijed suša smanjuju se razine vode u rijekama i razine podzemnih voda, usporava se rast stabala te povećavaju šumski požari i napadi štetnih organizama. Suša proizvodi snažan abiotički stres na domaćina i poremećuje njegov rast i razvoj. Nedostupnost vode također utječe na razvoj i povećava nekrozu koju uzrokuje *Sphaeropsis sapinea* (Blumenstein 2022.). Inficirani borovi pod vodnim stresom imaju veću nekrozu iglica od onih kojima je dostupna optimalna količina vode. Znanstvenici (Blumenstein i dr., 2021.) su dokazali da borovi uoči suše akumuliraju hidrogen peroksid u izbojcima, koji je toksičan za patogena, ali *Sphaeropsis sapinea* ima mogućnost proizvodnje peroksidaze kao reakcije na oksidativan stres hidrogen peroksida. Nadalje, klimatske promjene i ekstremni klimatski događaji povećati će pojavnost i virulenciju patogena. Suše i vrućine utjecati će na regeneraciju mladih biljaka i pomicanje visinske granice areala određenih vrsta šumskog drveća i posljedično njihovih patogena.

Klimatske promjene i zagađenost zraka vrlo su značajni za održivo upravljanje, te su glavni čimbenici koji utječu na zdravlje i vitalnost europskih šuma. Kontinuirano povećavanje ugljikovog dioksida sa 375 na 600 ppm do 2100., uz istovremeno podizanje globalne temperature za +2,8 stupnjeva celziusa, dovesti će do drastičnih promjena za okoliš te bi zaraze

gljivom *Sphaeropsis sapinea* mogle postati učestalije (Badea 2021). Unatoč međunarodnim obvezama, razina ugljikova dioksida (CO₂) u atmosferi i dalje raste te je prema podacima Svjetske meteorološke organizacije 2019. dosegla još jedan rekord (bila je gotovo 150 % viša nego 1750.). Europskim zelenim planom, koji je Europska komisija objavila u prosincu 2019., klimatske promjene su dobile važno mjesto u političkom programu EU-a. Glavni je cilj Europskog zelenog plana da Europa do 2050. postane prvi klimatski neutralan kontinent. (European Commission 2019)



Slika 6. Prosječne temperature u Europi

4. MJERE ZAŠTITE

Prilagodba klimatskim promjenama podrazumijeva pripremu za njihove posljedice i povećanje otpornosti šumskih ekosustava. To može značiti učinkovitiju upotrebu oskudnih vodnih resursa, prilagodbu trenutnih šumarskih praksi te osiguravanje održivog razvoja. Ljudske aktivnosti često negativno utječu na okoliš i mjenjaju uvjete staništa kroz degradaciju šume, eroziju tla, smanjenu plodnost tla te smanjene općekorisne funkcije šuma. Nemoguće je naći jedinstveno rješenje za sve države, a utjecaj i mjere prilagodljivosti biti će različite kroz dijelove Europe. Preporučuje se poduzimanje preventivnih mjera zaštite koje uključuju:

1. pravilan odabir provenijencije vrste i staništa pri pošumljavanju;
2. revizija i ažuriranje načina gospodarenja;
3. šumska higijena i pravilno izvođenje šumsko – uzgojnih radova smanjuje napad kukaca i patogena;
4. poboljšanje nadzorne mreže nad ugroženim područjima kako bi se otkrio učinak višestrukih poremećaja (Bussotti 2023);
5. orezivanje i uklanjanje zaraženih grana i drugih dijelova stabala;
6. korištenje Bordoške juhe na izbojcima tokom perioda njihove osjetljivosti (kraj travnja – početak svibnja);
7. navodnjavanje tijekom sušnih razdoblja u urbanim sredinama, (Diminić 1996);
8. uzgoj otpornih vrsta, (Terhonen 2021) i mješovitih šuma koje imaju stabilniju strukturu i sukcesiju te bolju sposobnost akumuliranja biomase;
9. otkrivanje novih biokontrolnih metoda i razvitak dijagnostičkih metoda za sprečavanje i detekciju širenja endofitske gljivične vrste *Sphaeropsis sapina* (Terhonen 2021);
10. očuvanje šumskog tla na vapnenačkim tlima koja su podložna nedostatku vode.

Borovi endofiti koji pokazuju antagonizam prema *Sphaeropsis sapinea*, te nemaju negativni učinak na domaćina mogli bi se u budućnosti koristiti u zaštiti domaćina od infekcije. U budućnosti bi znanje o endofitima moglo poslužiti kao metoda biokontrole ovog patogena.

5. ZAKLJUČAK

U posljednje vrijeme raste zabrinutost zbog mogućih učinaka klimatskih promjena na širenje i štetnost gljive *Sphaeropsis sapinea*. Rastom temperature širi se potencijalni areal zaraze gljive čime dolazi do povećanja pojave infekcije. Promjene obrazaca padalina uzrokuju stres na stablima te ih čini osjetljivima na ovaj patogen i ostale bolesti. Ova gljiva uzrokuje smanjenje bioraznolikosti i produktivnosti šume a time i njihov utjecaj na smanjenje emisije ugljika. Nadalje, kao posljedica dolazi do smanjenih prinosa i kvalitete drva, tržišnosti šumskih proizvoda te povećanja troškova kontrole bolesti.

Povećava se rizik opstanka za različite šumske vrste radi nepovoljnog odstupanja temperatura i oborina. Stabla u tim uvjetima fiziološki slabe, dok su štetnicima i bolestima omogućeni optimalni uvjeti za razvoj. Višestruki negativni utjecaj klimatskih promjena poput orkanskih vjetrova ili sušnih perioda biti će vidljiv u bližoj budućnosti.

Promjene u temperaturi, oborinama i ostalim klimatskim čimbenicima mijenjaju distribuciju i količinu mnogih biljnih vrsta uključujući i patogene gljive. S porastom temperatura areal ove gljive mogao bi se proširiti što bi dovelo do veće pojave zaraza. Gljiva bi mogla prouzročiti velike štete u šumskim ekosustavima dovodeći do gubitka bioraznolikosti, povećanju emisija ugljičnog dioksida i smanjenju produktivnosti šuma.

Za šumsku vegetaciju od klimatskih čimbenika najvažniji su temperatura zraka, količine oborina, vlaga zraka i vjetar koji ovise o reljefu. Područja pod borovim šumama se smanjuju za što postoje različiti uzroci kao što su globalne klimatske promjene i pojava novih gljivičnih bolesti.

Iako se klimatske promjene ne mogu poništiti, njihove se posljedice mogu ublažiti i možemo im se prilagoditi. Mjerama ublažavanja nastoje se smanjiti emisije stakleničkih plinova u atmosferi, primjerice korištenjem čiste energije i pošumljavanjem većih područja. Potrebne su drastične promjene u ključnim područjima kao što su promet, energetika, industrija, stanovanje, gospodarenje otpadom i poljoprivreda.

LITERATURA :

Badea, O. Climate Change and Air Pollution Effect on Forest Ecosystems. *Forests* 2021, 12, 1642. <https://doi.org/10.3390/f12121642>

Blodgett J.T., Kruger E.L., Stanosz G.R. 1996.: Effects of Moderate Water Stress on Disease Development by *Sphaeropsis sapinea* on Red Pine <https://apsjournals.apsnet.org/doi/epdf/10.1094/PHYTO.1997.87.4.422>

Blumenstein K, Langer G, Bußkamp J, Langer E, Terhonen E (2020) The opportunistic pathogen *Sphaeropsis sapinea* is found to be one of the most abundant fungi in symptomless and diseased Scots pine in Central-Europe. *BMC Plant Biology*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-48366/v1>

Blumenstein K., Buskamp J., Langer G., Schloser R., Rojas N., Terhonen E., 2021.: *Sphaeropsis Sapinea* and Associated Endophytes in Scots Pine: Interactions and Effect on the Host Under Variable Water Content <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2021.655769/full#B85> (pristupljeno 6.6.2023.)

Blumenstein K., Buskamp J., Langer G., Terhonen E., 2022.: *Diplodia* tipblight patogen's virulence empowered through host switch. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffunb.2022.939007/full> (pristupljeno 6.6.2023.)

Bussotti F., Papitto G., Di Martino D., Cocciufa C., Cindolo C., Cenni E., Bettini D., Iacopetti G., Pollastrini M., 2023. Klimatske promjene i zdravstveno stanje šuma u Italiji: trendovi i scenarija opsežnog monitoringa (mreža razine I - ICP Forests) u razdoblju 2010.-2022.

Bußkamp J, Langer G, Langer E 2021.: *Sphaeropsis sapinea* and fungal endophyte diversity in twigs of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Germany <https://link.springer.com/article/10.1007/s11557-020-01617-0>

Diminić D., Glavaš M. i Hrašovec B. 1993.: Važniji uzročnici bolesti borova u Istri file:///C:/Users/Gredicka14/Downloads/diminic-1993-vazniji_uzrocnici_bolesti_borova_u-sumfak_2926-publishedversion-di01wa-s.pdf

Diminić D., Glavaš M. i Hrašovec B. 1993.: Mikoze i štetni insekti u kulturama crnog bora na Crikveničko - Vinodolskom području <https://www.sumari.hr/sumlist/pdf/199502450.pdf>

Diminić D. 1994.: Prilog poznavanju mikoza borovih kultura u Istri <https://repositorij.sumfak.unizg.hr/islandora/object/sumfak%3A2550/datastream/FILE0/view>

Diminić D. 1996.: Gljiva *Sphaeropsis sapinea* na borovima sjevernojadranskog područja <https://www.sumari.hr/sumlist/pdf/199604630.pdf>

Diminić D., Hrašovec B., Potočić N., 2003: The contributing role of SO₂ and drought in forest decline of Austrians pine in coastal Croatia https://www.researchgate.net/publication/258241725_The_contributing_role_of_SO2_and_drought_in_forest_decline_of_Austrian_pine_in_coastal_Croatia

Diminić D., Potočić N., Seletković I., Gršković M. 2004: Utjecaj patogene gljive *Sphaeropsis Sapinea* na zaštitnu ulogu kultura crnog bora u Istri: Analiza zdravstvenog stanja i stanja ishrane. <https://www.bib.irb.hr/188558>

Diminić D., Potočić N., Seletković I., 2012: Uloga staništa u predispoziciji crnog bora (*Pinus nigra* Arnold) na zarazu fitopatogenom gljivom *Sphaeropsis Sapinea* (Fr) Dyko et Sutton u Istri <https://hrcak.srce.hr/file/115907>

EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization) Global database 2002 <https://gd.eppo.int/taxon/DIPDPI>

European Environment Agency 2017.: Klimatske promjene predstavljaju sve veći rizik za ekosustave, ljudsko zdravlje i gospodarstvo u Europi <https://www.eea.europa.eu/highlights/klimatske-promjene-predstavljaju-sve-veci>

Fabre B., Piou D., Desprez-Loustau M.-R., Marcais B., 2011.: Can the emergence of pine *Diplodia* shootblight in France be explained by changes in pathogen pressure linked to climate change?, <https://hal.science/hal-02113636/file/2011-GCB-fabre%26al.pdf> (pristupljeno 6.6.2023.)

Glavaš M., Diminić D., 2011.: Šume hrvatskog Sredozemlja: Bolesti šumskoga drveća. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, 535-537 str.

Halambek M., Liović B. 1988.: Propadanje crnog bora (*Pinus nigra* arnold) na području Istre, Primorja i Dalmacije. (Dieback of Black Pine/*Pinus nigra* arnold/on the Territory of Istria, Primorje and Dalmacija). <https://hrcak.srce.hr/file/373588>

Hanso M., R. Drenkhan, 2009.: *Diplotodia pinea* is a new pathogen on Austrian pine (*Pinus nigra*) in Estonia <https://www.researchgate.net>

Jactel H., Petit J., Desprez-Loustau M.L., Delzon S., Piou D., Battisti A., Koricheva J. 2012.: Drought effect on damage by forest insects and pathogens : meta-analysis <http://sylvain-delzon.com/wp-content/uploads/2013/02/Jactel-et-al-GCB-2011.pdf>

Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolstro M., Lexer M. J., Marchetti M. 2009.: Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems https://dspace.unitus.it/bitstream/2067/2067/1/FORECO_lindner.pdf

Mikkonen S., Laine M., Makela H. M., Gregow H., Tuomenvirta H., Lahtinen M., Laaksonen A. 2015.: Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013 <https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-014-0992-2>

Oliva J., Boberg J., Stenlid J. 2013.: First report of *Sphaeropsis sapinea* on Scots pine (*Pinus silvestris*) and Austrian pine (*Pinus nigra*) in Sweden https://www.researchgate.net/publication/259382154_First_report_of_Sphaeropsis_sapinea_on_Scots_pine_Pinus_sylvestris_and_Austrian_pine_P_nigra_in_Sweden

Pernek M. Novak Agaba S., Lacković N., Dođ N., Lukić I., Wirth S. 2012. : Uloga biotičkih čimbenika u sušenju borova (*Pinus spp.*) na području sjeverne Dalmacije“ (Šumarski list 5-6, str.343-354) <https://hrcak.srce.hr/file/129461>

Proietti C., Anav A., Fischer R., Vitale M., Cionni I., De Marco A. 2014.: The impacts of climate change and air pollution on forest health condition, Greece

Roy J., Kyritsi J., Reinwarth N., Bachelier J., Rillig M i Lucking R. 2022. : Host and abiotic constraints on the distribution of the pine fungal pathogen *Sphaeropsis sapinea* (= *Diplodia sapinea*) <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2022.971916/full>(pristupljeno 6.6.2023.)

Saikkonen K, Faeth SH, Helander M, Sullivan TJ 1998.: Fungal endophytes: a continuum of interactions with hostPlants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29: 319–343. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.319>.

Seletković Z., Tikvić I., Vučetić M., Ugarković D. 2011.: Klimatska obilježja i vegetacija sredozemne Hrvatske, Zagreb https://www.researchgate.net/profile/Damir-Ugarkovic/publication/335489911_KLIMATSKA_OBILJEZJA_I_VEGETACIJA_SREDOZEMNE_HRVATSKE_CLIMATIC_FEATURES_AND_THE_VEGETATION_OF_MEDITERRANEAN_CROATIA/links/5d68c482299bf1d59944b238/KLIMATSKA-OBILJEZJA-I-VEGETACIJA-SREDOZEMNE-HRVATSKE-CLIMATIC-FEATURES-AND-THE-VEGETATION-OF-MEDITERRANEAN-CROATIA.pdf

Spathelf P., Van der Maaten E., Van der Maaten-Theunissen M., Campioli M., Dobrovolska D. 2014.: Climate change impacts in European forests: the expert views of local observers <https://annforsci.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-013-0280-1>

Tanovski V., Matović B., Kesić L., Stojanović D., 2022: A review of the influence of climate change on coniferous forests in the Balkan peninsula <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0563-9034/2022/0563-90342210041T.pdf> (pristupljeno 6.6.2023.)

Terhonen E.L., Blumenstein K., Kovalchuk A., Asiegbu O. 2019: Forest Tree Microbiomes and Associated Fungal Endophytes: Functional Roles and Impact on Forest Health <file:///C:/Users/38599/Downloads/forests-10-00042.pdf>

Terhonen E., Babalola J., Kasanen R., Jalkanen R., Blumenstein K. 2020.: *Sphaeropsis sapinea* found as symptomless endophyte in Finland <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/94491167-153a-4381-af91-382ff49cd8cf/content>

Terhonen E.L., Babalola J., Kasanen R., Jalkanen R. I Blumenstein K., 2021 : Sphaeropsis sapinea found as symptomless endophyte in Finland

Wang C.-G., Blanchette, R. A., Jackson, W. A., Palmer M. A., 1985: Differences in conidial morphology among isolates of Sphaeropsis sapinea, Plant disease 69: 838-841(pristupljeno 25.07.2023.)

Zgrablić Ž., 2015.: Mikorizne gljive kao biološki pokazatelj zdravstvenog stanja kultura crnog bora (Pinus nigra J.F.Arnold) u Istri. file:///C:/Users/38599/DOWNLOADS/zgrablic_zeljko_sumfak_2016_diser_sveuc.pdf (pristupljeno 16.5.2023.)

Zwolinski J.B., Swart W.J., Wingfield M.J., 1990.: Economic impact of a post-hail outbreak of dieback induced by Sphaeropsis sapinea <https://www.silvafennica.fi/article/10420>

European Commission 2019.: Climate action and the Green Deal https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (pristupljeno 14.09.2023.)

POPIS SLIKA:

Slika 1. - <https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/hor/2006/01/03.pdf>

Slika 2. - [https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5511524#javascript:fullscreen\(\)](https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5511524#javascript:fullscreen())

Slika 3. - <https://www.sumari.hr/sumlist/pdf/199604630.pdf>

Slika 4. - <https://www.mycodb.fr/fiche.php?genre=Sphaeropsis&espece=sapinea&numphoto=5&source=list&filter=&numfiche=7313>

Slika 5. - [https://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=5488342#javascript:fullscreen\(\)](https://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=5488342#javascript:fullscreen())

Slika 6. - <https://proleksis.lzmk.hr/20191/>