

ULOGA MRTVOG DRVA U OČUVANJU BIORAZNOLIKOSTI U SPREMNIKU PARKOVNE ARHITEKTURE MAKSIMIR

Crnčan, Juraj

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:785398>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-10**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
ODJEL LOVSTVA I ZAŠTITE PRIRODE
STUDIJ LOVSTVA I ZAŠTITE PRIRODE**

JURAJ CRNČAN

**ULOGA MRTVOG DRVA U OČUVANJU BIORAZNOLIKOSTI U
SPOMENIKU PARKOVNE ARHITEKTURE MAKSIMIR**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2024.

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
ODJEL LOVSTVA I ZAŠTITE PRIRODE
STUDIJ LOVSTVA I ZAŠTITE PRIRODE**

JURAJ CRNČAN

**ULOGA MRTVOG DRVA U OČUVANJU BIORAZNOLIKOSTI U
SPOMENIKU PARKOVNE ARHITEKTURE MAKSIMIR**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

dr. sc. Nina Popović,

prof.struč.stud

dr. sc. Biljana Janev -Hutinec

KARLOVAC, 2024.

Zahvaljujem svim profesorima koji su mi tijekom studiranja prenosili svoje znanje, a posebno svojoj mentorici, dr. sc. Nini Popović, na stručnom vođenju i dragocjenim savjetima koji su bili od iznimne važnosti pri izradi ovog rada.

Posebnu zahvalnost izrazio bih i svojoj mentorici na stručnoj praksi u Javnoj ustanovi Maksimir dr. sc. Biljani Janev Hutinec, koja mi je pružila sve potrebne informacije i prenijela dio svog opsežnog znanja.

Konačno, zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima i kolegama na velikoj podršci tijekom studiranja.

ULOGA MRTVOG DRVA U OČUVANJU BIORAZNOLIKOSTI U SPOMENIKU PARKOVNE ARHITEKTURE MAKSIMIR

SAŽETAK

Ovaj rad bavi se istraživanjem uloge mrtvog drva u očuvanju bioraznolikosti unutar parka Maksimir, jednog od najvažnijih zelenih područja u Zagrebu. Mrtvo drvo je ključni element šumskih ekosustava, koji doprinosi održavanju ekološke ravnoteže i pruža stanište za brojne organizme, uključujući gljive, kukce i ptice. Unatoč svojoj važnosti, mrtvo drvo je često zanemareno u urbanim sredinama i gospodarskim šumama, što može imati negativan utjecaj na bioraznolikost i ekološku stabilnost tih područja. U istraživanju se posebno naglašava ekološka uloga mrtvog drva u ciklusu hranjivih tvari, poboljšanju strukture tla i održavanju mikroklimatskih uvjeta unutar šumskih zajednica. Mrtvo drvo, bilo stojeće ili ležeće, pruža različite mikrohabitate koji su ključni za preživljavanje i razmnožavanje specifičnih vrsta organizama. Primjerice, saprotrofne gljive igraju vitalnu ulogu u razgradnji mrtve organske tvari, čime doprinose recikliranju hranjivih tvari unutar ekosustava. Kukci, koji se hrane mrtvim drvom ili ga koriste kao stanište, također igraju važnu ulogu u hranidbenim lancima i oprašivanju. Kroz provedenu inventarizaciju mrtvog drva u parku Maksimir, prikupljeni su detaljni podaci o količini, raspodjeli i stanju mrtvog drva. Rezultati ove inventarizacije pokazuju prisutnost značajnih količina mrtvog drva različitih dimenzija i stupnjeva raspadanja, što ukazuje na dinamičan i zdrav ekosustav unutar parka. Ovi podaci su analizirani kako bi se utvrdila njihova važnost za lokalnu bioraznolikost te su uspoređeni s literaturnim podacima o sličnim ekosustavima. Zaključci istraživanja upućuju na to da mrtvo drvo igra ključnu ulogu u održavanju bioraznolikosti u Maksimiru, te da njegovo očuvanje i upravljanje trebaju biti integrirani u strategije zaštite prirode. Preporučuje se da mrtvo drvo bude prisutno u kontroliranim količinama kako bi se osigurala optimalna podrška za ekološke procese i staništa unutar parka. Osim toga, potrebna je kontinuirana edukacija i podizanje svijesti o važnosti mrtvog drva u urbanim sredinama, kako bi se potaknula javna podrška za očuvanje prirodnih resursa. Ovaj rad pridonosi boljem razumijevanju ekološke važnosti mrtvog drva i pruža praktične smjernice za njegovo očuvanje u urbanim parkovima kao što je Maksimir, čime se doprinosi očuvanju bioraznolikosti i ekološke stabilnosti u urbanim šumskim ekosustavima.

Ključne riječi: mrtvo drvo, bioraznolikost, park Maksimir, šumski ekosustavi, inventarizacija

THE ROLE OF DEAD WOOD IN THE PRESERVATION OF BIODIVERSITY IN THE PARK ARCHITECTURE MONUMENT MAKSIMIR

ABSTRACT

This paper investigates the role of dead wood in biodiversity conservation within Maksimir Park, one of the most important green areas in Zagreb. Dead wood is a crucial element of forest ecosystems, contributing to ecological balance and providing habitat for numerous organisms, including fungi, insects, and birds. Despite its importance, dead wood is often overlooked in urban environments and managed forests, which can negatively impact biodiversity and ecological stability in these areas. The study particularly emphasizes the ecological role of dead wood in nutrient cycling, soil structure improvement, and maintaining microclimatic conditions within forest communities. Whether standing or fallen, dead wood offers various microhabitats that are essential for the survival and reproduction of specific species. For example, saprotrophic fungi play a vital role in decomposing dead organic matter, thereby contributing to nutrient recycling within ecosystems. Insects that feed on or inhabit dead wood also play significant roles in food webs and pollination. Through the conducted inventory of dead wood in Maksimir Park, detailed data were collected on the quantity, distribution, and condition of dead wood. The results of this inventory reveal the presence of substantial amounts of dead wood of various sizes and decomposition stages, indicating a dynamic and healthy ecosystem within the park. These data were analyzed to determine their importance for local biodiversity and compared with literature data on similar ecosystems. The study concludes that dead wood plays a key role in maintaining biodiversity in Maksimir and that its conservation and management should be integrated into nature protection strategies. It is recommended that dead wood be present in controlled quantities to ensure optimal support for ecological processes and habitats within the park. Additionally, ongoing education and awareness-raising about the importance of dead wood in urban areas are necessary to foster public support for the conservation of natural resources. This paper contributes to a better understanding of the ecological importance of dead wood and provides practical guidelines for its conservation in urban parks such as Maksimir, thereby supporting the preservation of biodiversity and ecological stability in urban forest ecosystems.

Key words: dead wood, biodiversity, Maksimir Park, forest ecosystems, inventory

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Problem i cilj istraživanja.....	1
1.2. Mjesto istraživanja	1
2. KLASIFIKACIJA MRTVOG DRVA	5
2.1. Definicija i koncept mrtvog drva	5
2.2. Tipovi mrtvog drva.....	6
2.2.1. Stojeće mrtvo drvo (snags).....	6
2.2.2. Ležeće mrtvo drvo.....	7
2.2.3. Panjevi i korijenski sustavi.....	8
2.3. Stupnjevi raspadanja mrtvog drva.....	9
2.3.1. Svježe mrtvo drvo	10
2.3.2. Djelomično razgrađeno drvo	10
2.3.3. Potpuno razgrađeno drvo	10
3. VAŽNOST MRTVOG DRVA ZA BIORAZNOLIKOST	12
3.1. Ekološka uloga mrtvog drva	12
3.1.1. Uloga u ciklusu hranjivih tvari.....	12
3.1.2. Utjecaj na strukturu tla	13
3.2. Mrtvo drvo kao stanište.....	13
3.2.1. Gljive.....	13
3.2.2. Kukci	14
3.2.3. Ptice.....	14
3.3. Mrtvo drvo i očuvanje bioraznolikosti	15
3.3.1. Važnost za očuvanje vrsta	15
3.3.2. Utjecaj na šumske zajednice	16
4. MATERIJALI I METODE	18
4.1. Opis područja istraživanja.....	18
4.1.1. Povijesni pregled parka Maksimir.....	18
4.1.2. Geografske i ekološke značajke	19
4.1.3. Ekološki izazovi u parku Maksimir	20
4.2. Inventarizacija mrtvog drva u Maksimiru	20
4.2.1. Metodologija inventarizacije.....	21

5. REZULTATI	24
6. RASPRAVA.....	34
6.1. Zastupljenost različitih vrsta organizama.....	34
6.2. Usporedba s drugim šumskim ekosustavima	35
7. ZAKLJUČCI	37
8. LITERATURA	39

POPIS PRILOGA

Popis slika:

Slika br. 1 Napuknuto stojeće mrtvo drvo.....	7
Slika br. 2 Ležeće deblo	8
Slika br. 3 Panj	9

Popis tablica:

Tablica br. 1 Distribucija uzoraka po različitim plohama	26
Tablica br. 2 Faza raspadanja debla ili grane	27
Tablica br. 3 Vrsta drvnog ostatka	31
Tablica br. 4 Vrsta stabla.....	32

1. UVOD

1.1. Problem i cilj istraživanja

Očuvanje bioraznolikosti jedan je od najvažnijih izazova suvremene ekologije i zaštite prirode. U urbanim sredinama, gdje su prirodni ekosustavi fragmentirani i često pod pritiskom ljudskih aktivnosti, važnost očuvanja preostalih prirodnih elemenata postaje još izraženija. Jedan od ključnih elemenata šumskih ekosustava, koji se često zanemaruje u urbanom kontekstu, jest mrtvo drvo. Mrtvo drvo, bilo da je riječ o stojećem drvetu, ležećim trupcima, panjevima ili korijenima, ima neprocjenjivu ekološku vrijednost. Ono ne samo da doprinosi strukturalnoj kompleksnosti šume, već pruža stanište za širok spektar organizama, uključujući gljive, insekte, ptice i mnoge druge skupine živih bića. Uloga mrtvog drva u očuvanju bioraznolikosti, osobito u urbanim sredinama poput parka Maksimir u Zagrebu, zaslužuje posebnu pažnju.

1.2. Mjesto istraživanja

Park Maksimir jedan je od najstarijih javnih parkova u Hrvatskoj, osnovan krajem 18. stoljeća. Osim što je kulturno-povijesni spomenik, Maksimir predstavlja važan ekološki prostor unutar urbane matrice Zagreba. Njegove šume, livade, vodeni tokovi i jezera pružaju stanište za brojne biljne i životinjske vrste. Međutim, kako bi se očuvala bioraznolikost unutar parka, potrebno je razumjeti i očuvati sve ključne komponente ekosustava, uključujući mrtvo drvo.

Mrtvo drvo ima višestruku ekološku funkciju. Kao prvo, ono je bitan izvor hranjivih tvari. Kroz proces razgradnje, mrtvo drvo oslobađa hranjive tvari koje se ponovno vraćaju u tlo, čime se potiče rast novih biljaka i održava plodnost tla. Ovaj proces razgradnje također potiče razvoj specifičnih zajednica organizama, kao što su saprotrofne gljive, koje igraju ključnu ulogu u ciklusu hranjivih tvari. Uz to, mrtvo drvo stvara specifične mikroklimatske uvjete unutar šume, pružajući sklonište organizmima koji su osjetljivi na promjene temperature i vlage. Na taj način, mrtvo drvo doprinosi očuvanju raznolikosti mikrostaništa unutar šumskih ekosustava.

Jedan od najvažnijih aspekata mrtvog drva jest njegova uloga kao staništa. Mnoge vrste, posebno kukci, ovise o mrtvom drvu za gniježđenje, prehranu ili razvoj. Primjerice, brojni ksilofagni kukci, koji se hrane mrtvim drvom, igraju ključnu ulogu u razgradnji drvene mase. Njihova prisutnost također privlači druge vrste, poput ptica, koje se hrane kukcima. Na taj način, mrtvo drvo podržava složene hranidbene mreže unutar šumskih ekosustava. Uz to, stojeće mrtvo drvo, poznato kao „snags“, ključno je za gniježđenje mnogih vrsta ptica, uključujući djetliće i sove. Gubitak mrtvog drva iz ekosustava mogao bi stoga dovesti do smanjenja bioraznolikosti, osobito među vrstama koje su specijalizirane za ovakva staništa.

Unatoč svojoj važnosti, mrtvo drvo je često zanemareno u urbanom kontekstu i gospodarenju šumama. U mnogim slučajevima, mrtvo drvo se uklanja zbog estetskih razloga ili zbog sigurnosti, što može imati negativne posljedice za ekološku stabilnost i bioraznolikost. U urbanim parkovima poput Maksimira, gdje se ekološki ciljevi često suprotstavljaju zahtjevima javne sigurnosti i estetskih preferencija, upravljanje mrtvim drvom predstavlja poseban izazov. Međutim, suvremena praksa zaštite prirode sve više prepoznaje važnost očuvanja mrtvog drva kao ključnog elementa ekosustava, te se razvijaju smjernice za njegovo integrirano upravljanje.

Predmet ovog rada je istražiti ulogu mrtvog drva u očuvanju bioraznolikosti u parku Maksimir, s posebnim naglaskom na inventarizaciju mrtvog drva, koja je provedena kao dio stručne prakse. Cilj rada je analizirati količinu, raspodjelu i stanje mrtvog drva unutar parka, te procijeniti njegovu važnost za lokalnu bioraznolikost. Uz to, rad će pružiti pregled postojećih znanstvenih spoznaja o ekološkoj ulozi mrtvog drva, te će ponuditi smjernice za buduće upravljanje ovim važnim ekološkim resursom unutar urbanih parkova.

Metode istraživanja koje su korištene u ovom radu uključuju terensko prikupljanje podataka, analizu i klasifikaciju mrtvog drva te usporedbu s relevantnim znanstvenim izvorima. Prikupljeni podaci obuhvaćaju informacije o vrsti, veličini, stupnju raspadanja i položaju mrtvog drva, koji su potom uneseni u Excel tablicu za daljnju analizu. Rezultati inventarizacije pružaju uvid u stanje ekosustava parka Maksimir te omogućuju procjenu utjecaja mrtvog drva na očuvanje bioraznolikosti. Ovaj rad pridonosi boljem razumijevanju uloge mrtvog drva u urbanim šumskim ekosustavima i naglašava potrebu za njegovim očuvanjem unutar parkova poput Maksimira.

Uz to, rad pruža praktične smjernice za integrirano upravljanje mrtvim drvom, koje bi trebalo biti usmjereno na očuvanje bioraznolikosti, održavanje ekološke ravnoteže i pružanje kvalitetnih staništa za širok spektar organizama. Konačno, rad naglašava važnost edukacije i podizanja svijesti o ekološkoj vrijednosti mrtvog drva, kako među stručnjacima za zaštitu prirode, tako i među širom javnošću. Kroz takav pristup, mrtvo drvo može postati ključan alat u očuvanju urbanih ekosustava i doprinosu globalnim naporima za očuvanje bioraznolikosti.

Struktura ovog rada sastoji se od nekoliko ključnih dijelova, koji su organizirani kako bi pružili sveobuhvatan pregled teme istraživanja i omogućili detaljnu analizu uloge mrtvog drva u očuvanju bioraznolikosti unutar parka Maksimir.

Uvodni dio rada postavlja temelje za cjelokupno istraživanje. U njemu se definira predmet i cilj istraživanja, kao i relevantnost teme u kontekstu očuvanja urbanih šumskih ekosustava. U uvodu se također objašnjavaju korištene metode istraživanja, uključujući terensko prikupljanje podataka, inventarizaciju mrtvog drva te analitičke tehnike korištene za obradu podataka.

Drugi dio rada bavi se klasifikacijom mrtvog drva. U ovom poglavlju, mrtvo drvo se definira i klasificira prema različitim kriterijima, uključujući tipove mrtvog drva (stojeće, ležeće, panjevi, korijenje) i stupnjeve raspadanja. Ova klasifikacija omogućava bolje razumijevanje različitih ekoloških funkcija koje mrtvo drvo može imati u šumskom ekosustavu.

Treći dio rada analizira važnost mrtvog drva za bioraznolikost. Ovo poglavlje razmatra ekološke funkcije mrtvog drva, uključujući njegovu ulogu u ciklusu hranjivih tvari, poboljšanju strukture tla, te pružanju staništa za raznolike organizme, kao što su gljive, kukci i ptice. Ovaj dio rada također pruža pregled dosadašnjih istraživanja i znanstvenih spoznaja o ulozi mrtvog drva u očuvanju ekološke ravnoteže i bioraznolikosti.

Četvrti dio rada posvećen je primjeni teorijskih spoznaja na konkretan slučaj parka Maksimir. U ovom poglavlju opisuje se područje istraživanja, s naglaskom na povijesne, geografske i ekološke karakteristike parka. Zatim se detaljno opisuje inventarizacija mrtvog drva, koja je provedena tijekom stručne prakse. Prikupljeni podaci analizirani su kako bi se procijenila količina, raspodjela i stanje mrtvog drva unutar parka.

Ovi rezultati uspoređeni su s literaturnim podacima o sličnim ekosustavima, čime se procjenjuje važnost mrtvog drva za lokalnu bioraznolikost u Maksimiru.

Zaključni dio rada sažima glavne nalaze istraživanja i pruža preporuke za daljnje istraživanje i upravljanje mrtvim drvom u urbanim šumskim ekosustavima. U zaključku se također naglašava važnost očuvanja mrtvog drva kao ključnog elementa u održavanju bioraznolikosti i ekološke stabilnosti, te se predlažu konkretne smjernice za integrirano upravljanje mrtvim drvom unutar parkova poput Maksimira.

2. KLASIFIKACIJA MRTVOG DRVA

Klasifikacija mrtvog drva u ekološkom kontekstu ima ključnu ulogu u razumijevanju njegovih funkcija unutar šumskih ekosustava. Mrtvo drvo, koje se često promatra kao otpad ili nusproizvod u gospodarskim šumama, zapravo predstavlja vitalnu komponentu šumskih ekosustava. Njegova prisutnost doprinosi očuvanju bioraznolikosti, strukturalnoj složenosti šume, ciklusu hranjivih tvari te pruža stanište za mnoge vrste organizama. Kako bismo bolje razumjeli ulogu mrtvog drva, potrebno je detaljno proučiti različite aspekte njegove klasifikacije, uključujući definiciju mrtvog drva, tipove mrtvog drva i stupnjeve raspadanja.

2.1. Definicija i koncept mrtvog drva

Mrtvo drvo odnosi se na sve dijelove drveta koji su mrtvi, bilo da su još uvijek uspravni (stojeće mrtvo drvo) ili su pali na tlo (ležeće mrtvo drvo), te uključuje panjeve, grane i korijenje. Ova definicija obuhvaća različite faze raspadanja drva, od svježe mrtvog drva koje još uvijek zadržava veći dio svoje strukturalne čvrstoće, do potpuno raspadnutog drva koje se gotovo u potpunosti integriralo s tlom.

Mrtvo drvo može biti rezultat prirodnih procesa, poput bolesti, starosti, vjetra, požara, ili posljedica ljudskih aktivnosti, kao što su sječa drva ili ostaci nakon gospodarskog iskorištavanja šuma (HARMON i sur., 1986; CHRISTENSEN i sur., 2005). Koncept mrtvog drva kao važnog ekološkog resursa nije bio široko prihvaćen sve do nedavno, kada su ekolozi počeli shvaćati njegovu ključnu ulogu u očuvanju šumskih ekosustava. Tradicionalno, mrtvo drvo smatralo se beskorisnim, pa čak i opasnim, osobito u urbanim sredinama gdje može predstavljati sigurnosni rizik. Međutim, suvremena ekologija prepoznaje mrtvo drvo kao vitalni dio ekosustava, koji pruža stanište za mnoge organizme i sudjeluje u održavanju ekološke ravnoteže (CHRISTENSEN i sur., 2005).

U novije vrijeme, mnoge šumske politike i smjernice uključuju očuvanje mrtvog drva kao dio održivog upravljanja šumama. Mrtvo drvo ne samo da doprinosi bioraznolikosti, već ima i ključnu ulogu u stabilizaciji šumskih tala, sprječavanju erozije i zadržavanju vode.

Kroz proces razgradnje, mrtvo drvo oslobađa hranjive tvari koje su esencijalne za rast novih biljaka, čime se održava ciklus hranjivih tvari unutar šumskog ekosustava (PASTORELLI i sur., 2023). Ovi procesi čine mrtvo drvo ključnim za očuvanje zdravlja i funkcionalnosti šumskih ekosustava, posebno u urbanim sredinama gdje su prirodni procesi često narušeni ljudskim djelovanjem.

2.2. Tipovi mrtvog drva

Klasifikacija mrtvog drva prema tipu pruža temelj za razumijevanje različitih ekoloških uloga koje ono može imati. Mrtvo drvo može se klasificirati prema njegovom položaju (stojeće ili ležeće), veličini, obliku i stupnju raspadanja. Svaki od ovih tipova mrtvog drva pruža različite ekološke funkcije i staništa za specifične skupine organizama.

2.2.1. Stojeće mrtvo drvo (snags)

Stojeće mrtvo drvo (Slika br.1), poznato kao „snags“, su mrtva stabla koja ostaju uspravna nakon što su umrla. Ova stabla su izuzetno važna za šumske ekosustave jer pružaju stanište za razne vrste ptica, sisavaca, insekata i gljiva. Djetlići, na primjer, koriste stojeće mrtvo drvo za gniježđenje, bušeći rupe u mekom drvu. Osim toga, mnoge vrste šišmiša i drugih sisavaca koriste ove rupe kao skloništa (GURNELL i sur., 2002). Stojeća mrtva drva također igraju važnu ulogu u dinamici šumskih požara, jer mogu služiti kao barijera koja usporava širenje požara ili kao potencijalni izvori goriva. Ekološka važnost stojećeg mrtvog drva prepoznata je u mnogim šumskim ekosustavima širom svijeta.

U Europi, istraživanja su pokazala da su šume s većom količinom stojećeg mrtvog drva bogatije vrstama koje ovise o takvim staništima (CHRISTENSEN i sur., 2005). U urbanim šumama, kao što je park Maksimir, stojeće mrtvo drvo može biti od posebne važnosti za očuvanje lokalne bioraznolikosti, osobito u kontekstu sve većeg pritiska urbanizacije.



Slika br. 1 Napuknuto stojeće mrtvo drvo

2.2.2. Ležeće mrtvo drvo

Ležeće mrtvo drvo (Slika br. 2) uključuje sva stabla i grane koje su pale na tlo. Ovo drvo pruža stanište za brojne organizme, uključujući mnoge vrste beskralješnjaka, gljiva i mikroorganizama koji igraju ključnu ulogu u razgradnji organske tvari i recikliranju hranjivih tvari u šumskim ekosustavima (JABIN i sur., 2004). Ležeće mrtvo drvo također doprinosi stvaranju raznolikosti mikrostaništa unutar šume, pružajući sklonište i zaštitu od predatora mnogim malim životinjama i kukcima. Osim toga, ležeće mrtvo drvo igra važnu ulogu u regulaciji vodnog režima u šumama, pomažući zadržavanju vlage u tlu, što je od posebne važnosti tijekom sušnih razdoblja.



Slika br. 2 Ležeće deblo

U šumskim ekosustavima, ležeće mrtvo drvo često se koristi kao pokazatelj ekološke stabilnosti i zdravlja šume. Šume s većim količinama ležećeg mrtvog drva obično imaju veću bioraznolikost i stabilniju ekološku strukturu. U urbanim parkovima, kao što je Maksimir, prisutnost ležećeg mrtvog drva, može pomoći u održavanju ekološke ravnoteže i osigurati staništa za brojne organizme koji inače ne bi mogli preživjeti u urbaniziranim područjima.

2.2.3. Panjevi i korijenski sustavi

Panjevi i korijenski sustavi, iako često zanemareni u klasifikacijama mrtvog drva, također imaju značajnu ekološku ulogu. Panjevi su ostatci debla stabala koja su posječena ili pala (Slika br 3), dok korijenski sustavi obuhvaćaju sve podzemne dijelove drveta, koji ostaju nakon smrti stabla. Ovi elementi mrtvog drva igraju ključnu ulogu u održavanju strukturalne stabilnosti tla, sprječavanju erozije te osiguravanju staništa za specifične vrste organizama, poput podzemnih gljiva i bakterija koje sudjeluju u razgradnji organske tvari (MATOVIĆ i sur., 2013).

Korijenski sustavi također mogu biti važan izvor hranjivih tvari za rast novih biljaka, osobito u šumama gdje su tla siromašna hranjivim tvarima (HARTMANN i sur. 2017). Panjevi, s druge strane, često služe kao mikrostanište za različite vrste beskralješnjaka i gljiva, te mogu igrati ulogu u regeneraciji šume pružajući stanište za sjemenke koje klijaju na njihovim površinama (ANIĆ, 2004).



Slika br. 3 Panj

2.3. Stupnjevi raspadanja mrtvog drva

Mrtvo drvo prolazi kroz različite faze raspadanja koje su ključne za razumijevanje njegovih ekoloških funkcija unutar šumskih ekosustava. Stupanj raspadanja drva ovisi o mnogim čimbenicima, uključujući vrstu drveta, okolišne uvjete (vlaga, temperatura), prisutnost mikroorganizama i drugih organizama koji sudjeluju u razgradnji, te vrijeme koje je proteklo od smrti drveta. Različiti stupnjevi raspadanja mrtvog drva pružaju različite vrste mikrostanišnih uvjeta i podržavaju različite ekološke procese (HRAŠOVEC I FRANJEVIĆ, 2011).

2.3.1. Svježe mrtvo drvo

U početnoj fazi raspadanja, mrtvo drvo je relativno svježe i zadržava većinu svojih strukturalnih svojstava. Ovo drvo još uvijek može imati koru, grane i listove, a unutrašnjost drveta je čvrsta i suha. U ovoj fazi, mrtvo drvo pruža stanište za organizme koji su specijalizirani za kolonizaciju svježeg drveta, poput određenih vrsta kukaca, gljiva i bakterija. Saprotrofne gljive, koje se hrane mrtvom organskom tvari, počinju kolonizirati drvo i započinju proces razgradnje (JONSELL i sur., 2004). Svježe mrtvo drvo, također igra važnu ulogu u održavanju bioraznolikosti jer pruža stanište za vrste koje ovise o čvrstom drvetu za gniježđenje, kao što su neke vrste ptica i sisavaca. Na primjer, djetlići često koriste svježe mrtvo drvo za bušenje rupa u kojima će gnijezditi. Osim toga, svježe mrtvo drvo može poslužiti kao izvor hrane za ksilofagne kukce koji se hrane drvetom, što može privući i druge vrste koje se hrane tim insektima.

2.3.2. Djelomično razgrađeno drvo

Kako vrijeme prolazi, mrtvo drvo ulazi u fazu djelomičnog raspadanja. U ovoj fazi, drvo postaje mekše i gubi dio svoje čvrstoće. Kora se može početi ljuštiti, a unutrašnjost drveta postaje vlažnija i manje čvrsta. Ova faza raspadanja mrtvog drva je ključna za povećanje mikrohabitatne raznolikosti, jer se razvijaju uvjeti koji omogućuju naseljavanje različitih organizama, uključujući gljive, kukce i mikroorganizme (JONSELL i sur., 2004). Djelomično raspadnuto drvo pruža idealne uvjete za razvoj gljiva koje igraju ključnu ulogu u razgradnji lignina i celuloze, glavnih strukturalnih komponenti drveta. U ovoj fazi, mrtvo drvo može postati kolonizirano različitim vrstama saprotrofnih i mikoriznih gljiva, koje ne samo da razgrađuju drvo, nego također doprinose obogaćivanju tla hranjivim tvarima. Kukci poput kornjaša, također igraju važnu ulogu u ovoj fazi, jer njihova aktivnost dodatno doprinosi mehaničkom raspadanju drveta i ubrzava proces razgradnje.

2.3.3. Potpuno razgrađeno drvo

U završnoj fazi raspadanja, mrtvo drvo je gotovo potpuno raspadnuto i integrirano s tlom. U ovoj fazi, drvo gubi svoju strukturalnu čvrstoću i postaje mekana, vlažna masa koja se lako može zdrobiti rukom. Potpuno raspadnuto drvo je bogato hranjivim tvarima i igra ključnu ulogu u ciklusu hranjivih tvari unutar šumskih ekosustava.

Ova faza raspadanja posebno je važna za mikroorganizme, gljive i beskralješnjake koji su specijalizirani za razgradnju organske tvari. Potpuno raspadnuto drvo također osigurava stanište za mnoge vrste beskralješnjaka, uključujući gujavice, koje doprinose miješanju tla i recikliranju hranjivih tvari. Osim toga, ovaj tip mrtvog drva može poslužiti kao supstrat za rast biljaka, jer je bogat organskim tvarima i mikroelementima.

Ekološka važnost potpuno raspadnutog drva, leži u njegovoj sposobnosti da podržava regeneraciju šumskih ekosustava. Kroz proces raspadanja, mrtvo drvo se vraća u tlo, obogaćujući ga hranjivim tvarima koje su potrebne za rast novih biljaka. Na taj način, mrtvo drvo osigurava kontinuirani ciklus hranjivih tvari unutar šume, održavajući ekološku ravnotežu i podržavajući zdravlje šumskog ekosustava (MÜLLER i sur., 2007).

Klasifikacija mrtvog drva po tipu i stupnju raspadanja, pruža temeljno razumijevanje njegove uloge u šumskim ekosustavima. Različiti tipovi mrtvog drva, bilo stojeći, ležeći, panjevi ili korijenski sustavi, pružaju različite vrste staništa i ekološke funkcije koje podržavaju bioraznolikost. Kroz različite faze raspadanja, mrtvo drvo obogaćuje tlo hranjivim tvarima, podržava ciklus hranjivih tvari i osigurava stanište za mnoge organizme, čime značajno doprinosi očuvanju ekološke ravnoteže u šumskim ekosustavima. U urbanim parkovima poput Maksimira, očuvanje mrtvog drva kao ključne komponente ekosustava može imati važnu ulogu u očuvanju bioraznolikosti i ekološke stabilnosti.

3. VAŽNOST MRTVOG DRVA ZA BIORAZNOLIKOST

Mrtvo drvo ima ključnu ulogu u održavanju bioraznolikosti unutar šumskih ekosustava. Njegova prisutnost osigurava staništa i resurse za širok spektar organizama, uključujući gljive, kukce, ptice, sisavce i brojne druge skupine živih bića. Bez mrtvog drva, mnoge vrste ne bi mogle preživjeti ili uspješno razmnožavati se, što bi rezultiralo smanjenjem bioraznolikosti i destabilizacijom ekosustava. Ova važnost mrtvog drva za bioraznolikost bit će detaljno analizirana u ovom poglavlju kroz tri glavne podteme: ekološka uloga mrtvog drva, mrtvo drvo kao stanište te njegova uloga u očuvanju specifičnih vrsta i ekosustava.

3.1. Ekološka uloga mrtvog drva

Mrtvo drvo ima nekoliko ključnih ekoloških funkcija u šumskim ekosustavima. Najvažnije su njegova uloga u ciklusu hranjivih tvari i utjecaj na strukturu tla, čime omogućuje stvaranje stabilnog i raznovrsnog ekosustava koji podržava širok spektar vrsta.

3.1.1. Uloga u ciklusu hranjivih tvari

Mrtvo drvo igra presudnu ulogu u ciklusu hranjivih tvari unutar šumskih ekosustava. Kroz proces razgradnje, mrtvo drvo oslobađa ključne hranjive tvari poput dušika, fosfora i kalija, koje se vraćaju u tlo i omogućuju rast novih biljaka. Ovaj proces započinje kada saprotrofne gljive i bakterije koloniziraju mrtvo drvo, razlažući složene organske spojeve poput lignina i celuloze na jednostavnije molekule koje se mogu apsorbirati u tlo (HARMON i sur., 1986). Proces razgradnje drveta bitan je za očuvanje plodnosti tla, posebno u šumama gdje su hranjive tvari često ograničene (ARAČ I PERNEK, 2014). Uz to, mrtvo drvo djeluje kao dugotrajno skladište ugljika (BEGOVIĆ, 2016). Tijekom raspadanja, značajne količine ugljika se zadržavaju unutar mrtve drvene mase, čime se pridonosi smanjenju ugljičnog dioksida u atmosferi. Ovo je posebno važno u kontekstu klimatskih promjena, gdje šume imaju ključnu ulogu kao skladišta ugljika (MARJANOVIĆ I OSTROGOVIĆ, 2015). Također, kroz razgradnju mrtvog drva, oslobađaju se mikronutrijenti poput magnezija, kalcija i drugih mineralnih elemenata koji su esencijalni za zdravlje šumskih ekosustava.

Razgradnja ovih elemenata je ključna za dugoročnu održivost šumskih zajednica, jer omogućuje obnovu i regeneraciju vegetacije, čime se osigurava kontinuirani ciklus hranjivih tvari u ekosustavu (Christensen i sur., 2005).

3.1.2. Utjecaj na strukturu tla

Mrtvo drvo značajno utječe na strukturu tla u šumama, pružajući stabilnost i sprječavajući eroziju. Kada se mrtvo drvo raspada, ono se postupno integrira u tlo, povećavajući njegovu organsku materiju i poboljšavajući njegovu strukturu. Ovo je posebno važno u šumama na strmim padinama ili u područjima s intenzivnim padalinama, gdje mrtvo drvo može pomoći u stabilizaciji tla i sprječavanju klizišta. Struktura tla je bitna za mnoge ekološke procese, uključujući vodnu infiltraciju, kapacitet zadržavanja vode i aeraciju. Prisutnost mrtvog drva u tlu može povećati poroznost tla, što poboljšava infiltraciju vode i smanjuje rizik od poplava. Uz to, mrtvo drvo u tlu djeluje kao spužva, upijajući vodu tijekom kišnih razdoblja i postupno je otpuštajući tijekom sušnih razdoblja, čime se osigurava stalna dostupnost vode za biljke (JABIN i sur., 2004).

Prisutnost organske materije iz mrtvog drva također potiče razvoj tla bogatog humusom, koje je esencijalno za rast biljaka. Humus povećava kapacitet tla za zadržavanje hranjivih tvari, što omogućuje dugoročnu plodnost tla i podržava rast nove vegetacije. U starim šumama, gdje je mrtvo drvo prisutno u velikim količinama, ovo doprinosi stvaranju dubokih, plodnih tla koja su ključna za održavanje zdravih šumskih ekosustava (JONSELL i sur., 2007).

3.2. Mrtvo drvo kao stanište

Mrtvo drvo pruža stanište za brojne organizme, uključujući gljive, kukce i ptice. Ova staništa su ključna za očuvanje bioraznolikosti, jer mnoge vrste ovise o specifičnim uvjetima koje pruža mrtvo drvo.

3.2.1. Gljive

Gljive su jedni od najvažnijih korisnika mrtvog drva. One igraju ključnu ulogu u razgradnji drvene tvari, razlažući složene organske molekule poput lignina i celuloze, čime doprinose ciklusu hranjivih tvari unutar šumskih ekosustava.

Mnoge vrste gljiva su specifične za određene vrste drva ili određene stupnjeve raspadanja, što čini mrtvo drvo ključnim za održavanje raznolikosti gljiva unutar šume (CHRISTENSEN i sur., 2005). U starim šumama, prisutnost raznolikih vrsta mrtvog drva omogućuje razvoj bogate i raznolike mikoflore, koja doprinosi ukupnoj bioraznolikosti šume (JONSELL i sur., 2007). Gljive koje koloniziraju mrtvo drvo također igraju ključnu ulogu u stvaranju humusa, poboljšavajući strukturu tla i povećavajući njegovu plodnost. Njihova aktivnost doprinosi razgradnji organske tvari, što obogaćuje tlo hranjivim tvarima i stvara uvjete za rast nove vegetacije. U starim, netaknutim šumama, ove funkcije gljiva su ključne za očuvanje zdravlja i stabilnosti ekosustava šume (JONSELL i sur., 2007).

3.2.2. Kukci

Kukci su također ključni korisnici mrtvog drva. Ksilofagni kukci, koji se hrane drvnom masom, igraju važnu ulogu u mehaničkom raspadanju drveta i ubrzavanju procesa razgradnje. Ovi kukci često privlače predatore, poput ptica, koji se hrane kukcima, čime mrtvo drvo podržava složene hranidbene mreže unutar šumskih ekosustava (GURNELL i sur., 2002). Uz ksilofagne kukce, mnoge druge vrste beskralješnjaka koriste mrtvo drvo kao stanište, uključujući mrave, termine i različite vrste kukaca, koji također igraju važnu ulogu u razgradnji i reciklaži organske tvari (KRALJ i sur., 2006).

Mrtvo drvo također pruža sklonište za kukce tijekom nepovoljnih vremenskih uvjeta, kao što su suša ili niske temperature. Mnoge vrste kukaca koriste mrtvo drvo za prezimljavanje ili zaštitu od predatora, što povećava njihovu šansu za (JONSELL i sur., 2007). U šumama koje su bogate mrtvim drvetom, populacije ovih kukaca su stabilnije, što doprinosi ukupnoj stabilnosti i zdravlju ekosustava.

3.2.3. Ptice

Ptice su ključni korisnici mrtvog drva u šumskim ekosustavima, posebno one vrste koje ovise o šupljinama za gniježđenje. Mnoge vrste ptica, poput djetlića, koriste stojeće mrtvo drvo („snags“) za bušenje gnijezda. Ove šupljine zatim koriste druge vrste ptica, sisavaca i čak neki gmazovi, koji ne mogu sami napraviti šupljine, ali se oslanjaju na već postojeće šupljine za sklonište ili gniježđenje (GURNELL i sur., 2002).

Djetlići su ekološki važni jer ne samo da stvaraju šupljine, nego svojim ponašanjem u potrazi za hranom pomažu u kontroli populacije kukaca štetnih za drveće, što doprinosi zdravlju šumskih ekosustava.

U šumama gdje je mrtvo drvo u izobilju, kao što su stare, netaknute šume, nalazi se velika raznolikost ptica dupljašica. Istraživanja su pokazala da u šumama s velikom količinom stojećeg mrtvog drva postoji veća raznolikost vrsta ptica u usporedbi sa šumama gdje je mrtvo drvo uklonjeno zbog gospodarskih aktivnosti (JONSELL i sur., 2007). Ovo ukazuje na važnost mrtvog drva ne samo kao fizičkog resursa, već i kao ključnog faktora u očuvanju bioraznolikosti ptičjih populacija. U urbanim šumama poput Maksimira, gdje je pritisak urbanizacije i ljudskih aktivnosti visok, očuvanje stojećeg mrtvog drva može biti presudno za održavanje populacija ptica koje ovise o ovakvim staništima. Dodatno, mrtvo drvo pruža sklonište pticama tijekom ekstremnih vremenskih uvjeta, kao što su oluje ili ekstremne temperature, čime im omogućava preživljavanje u zahtjevnim uvjetima (YANG i sur., 2021).

Nadalje, mrtvo drvo podržava različite vrste ptica ne samo kao stanište, nego i kao izvor hrane. Ptice kukcojedi, poput nekih vrsta djetlića i muharica, oslanjaju se na mrtvo drvo kao glavni izvor hrane, jer je ono bogato ksilofagnim kukcima i njihovim ličinkama. Također, ptice grabežljivci, poput sova, koriste mrtvo drvo kao osmatračnice dok love plijen, što ukazuje na višestruke načine na koje mrtvo drvo podržava ptičje zajednice u šumama.

3.3. Mrtvo drvo i očuvanje bioraznolikosti

Mrtvo drvo ima izuzetno važnu ulogu u očuvanju bioraznolikosti šumskih ekosustava. Njegova prisutnost podržava specifične vrste i pomaže u održavanju stabilnosti šumskih zajednica, što je presudno za dugoročno očuvanje ekosustava.

3.3.1. *Važnost za očuvanje vrsta*

Mrtvo drvo je od vitalnog značaja za očuvanje brojnih ugroženih i specijaliziranih vrsta koje ovise o specifičnim staništima unutar mrtvog drva. U Europi, mnoge vrste gljiva, kukaca i ptica su na popisu ugroženih zbog smanjenja količine mrtvog drva u šumama, koje je rezultat intenzivnog gospodarenja šumama i uklanjanja mrtvog drva radi sigurnosti ili gospodarske koristi (CHRISTENSEN i sur., 2005).

Ugrožene vrste, poput saproksilnih kukaca, koje ovise o specifičnim uvjetima unutar raspadajućeg drveta, su posebno osjetljive na promjene u dostupnosti mrtvog drva (JONSELL i sur., 2007). Konzervacijske strategije koje uključuju očuvanje mrtvog drva u šumskim ekosustavima pokazale su se uspješnima u očuvanju ovih specijaliziranih vrsta. Na primjer, u starim, prirodnim šumama gdje se mrtvo drvo ne uklanja, istraživanja su pokazala da populacije ugroženih vrsta ostaju stabilne ili čak rastu (JONSELL i sur., 2007). Očuvanje mrtvog drva ne samo da podržava specifične vrste, nego i doprinosi cjelokupnoj bioraznolikosti šumskih ekosustava, jer povećava raznolikost staništa i resursa dostupnih za različite organizme. Uz to, mrtvo drvo je ključni element u povezivanju kopnenih i vodnih ekosustava u šumama. Kada mrtvo drvo padne u vodene tokove, doprinosi strukturi staništa unutar vodotoka, osigurava sklonište za ribe i druge vodene organizme te igra važnu ulogu u stabilizaciji obala (MARJANOVIĆ I OSTROGOVIĆ, 2015). Ovo pokazuje kako mrtvo drvo ima multidimenzionalnu ulogu u očuvanju bioraznolikosti, podržavajući različite ekološke funkcije koje su ključne za stabilnost i održivost šumskih ekosustava.

3.3.2. Utjecaj na šumske zajednice

Utjecaj mrtvog drva na šumske zajednice je dubok i višestruk. Mrtvo drvo ne samo da pruža staništa za specifične vrste, već također igra ključnu ulogu u dinamici šumskih zajednica. Prisutnost mrtvog drva u šumi može značajno povećati heterogenost staništa, čime se omogućava koegzistencija različitih vrsta s različitim ekološkim zahtjevima (YANG i sur., 2021). Mrtvo drvo podržava održavanje složenih hranidbenih mreža unutar šumskih ekosustava. Na primjer, gljive koje koloniziraju mrtvo drvo ne samo da razgrađuju organsku tvar, već također služe kao izvor hrane za različite vrste beskralješnjaka. Ovi beskralješnjaci, zauzvrat, postaju plijen za ptice i sisavce, čime se uspostavlja složena mreža interakcija unutar šumskog ekosustava (JABIN i sur., 2004). Ova mreža interakcija je ključna za stabilnost šumskih zajednica, jer omogućuje prijenos energije i hranjivih tvari kroz različite trofičke razine. Dodatno, mrtvo drvo može utjecati na strukturu vegetacije u šumi. Na primjer, ležeće mrtvo drvo može spriječiti rast određenih vrsta drveća i grmlja, stvarajući prostore gdje mogu rasti biljne vrste koje zahtijevaju svjetlost ili koje su konkurencijski inferiorne u odnosu na dominantne vrste (JONSELL i sur., 2007). Ovo povećava raznolikost vegetacije i doprinosi ukupnoj bioraznolikosti šume.

U šumama gdje je mrtvo drvo prisutno u izobilju, kao što su stare, prirodne šume, istraživanja pokazuju da ove šume imaju veću otpornost na perturbacije poput oluja, požara ili suša. Mrtvo drvo pomaže u amortiziranju učinaka ovih perturbacija, pružajući stabilnost ekosustavu i omogućujući mu brži oporavak (CHRISTENSEN i sur., 2005). Ova otpornost je ključna za dugoročno očuvanje šumskih zajednica u suočavanju s izazovima poput klimatskih promjena i ljudskog utjecaja.

4. MATERIJALI I METODE

Park Maksimir, jedan od najstarijih i najvažnijih urbanih parkova u Hrvatskoj, predstavlja jedinstveno područje za proučavanje uloge mrtvog drva u očuvanju bioraznolikosti. Ovaj park, koji se nalazi u srcu Zagreba, kombinira povijesne, kulturne i ekološke vrijednosti, čime se izdvaja kao ključna zona za zaštitu prirode unutar urbanog konteksta. U ovom poglavlju detaljno će se analizirati značajke parka Maksimir, s posebnim naglaskom na prisutnost mrtvog drva i njegovu ulogu u održavanju bioraznolikosti.

4.1. Opis područja istraživanja

Park Maksimir je osnovan krajem 18. stoljeća i prostire se na površini od 316 hektara. S obzirom na svoju povijesnu i ekološku važnost, park Maksimir predstavlja jedan od najvažnijih primjera parkovne arhitekture u jugoistočnoj Europi. Smješten u Zagrebu, ovaj park kombinira prirodne šumske zajednice s elementima pejzažne arhitekture, što ga čini jedinstvenim u pogledu ekološke i kulturne vrijednosti.

4.1.1. Povijesni pregled parka Maksimir

Osnivanje parka Maksimir započelo je inicijativom biskupa Maksimilijana Vrhovca krajem 18. stoljeća, s ciljem stvaranja prostora za rekreaciju i edukaciju građana Zagreba. Park je zamišljen kao veliki pejzažni park, inspiriran europskim parkovima u Engleskoj i Francuskoj, gdje su prirodni krajolici kombinirani s umjetnim elementima poput jezera, šetnica i vidikovaca. Kroz desetljeća, Maksimir je prolazio kroz različite faze uređenja i rekonstrukcije, ali je uvijek zadržao svoju osnovnu funkciju kao prostor za rekreaciju, uživanje i očuvanje prirodne i kulturne baštine. Tijekom 19. i 20. stoljeća, Maksimir je postao važno središte za znanstvena istraživanja, osobito u područjima botanike, zoologije i ekologije. Brojni botaničari i zoolozi prepoznali su raznolikost flore i faune prisutne u parku te su započeli s dokumentiranjem vrsta i proučavanjem ekosustava unutar parka. Zahvaljujući tim istraživanjima, Maksimir je danas prepoznat kao jedno od ključnih urbanih područja za očuvanje bioraznolikosti u Hrvatskoj (MARUŠEVSKI, 1992).

Maksimir je kroz povijest bio i prostor za obrazovanje i podizanje svijesti o važnosti očuvanja prirode. Kroz različite programe i aktivnosti, park je doprinio edukaciji građana o važnosti očuvanja okoliša, što je postalo posebno važno u kontekstu ubrzane urbanizacije Zagreba u 20. stoljeću. Park je također dom brojnim kulturnim i znanstvenim institucijama, uključujući Zoološki vrt Zagreb, koji dodatno doprinosi obrazovnim i istraživačkim aktivnostima u parku (MARUŠEVSKI, 1992).

4.1.2. Geografske i ekološke značajke

Park Maksimir smješten je u sjeveroistočnom dijelu Zagreba, na prijelazu između urbaniziranog dijela grada i šumovitih predjela. Reljef parka je blago valovit, s nadmorskom visinom koja varira od 123 do 145 metara, što omogućuje raznolikost staništa unutar parka. Geološka podloga sastoji se od slojeva pijeska, šljunka i gline, što rezultira raznolikim tipovima tla koji podržavaju različite biljne zajednice, uključujući kiselkasta tla u višim dijelovima i alkalna tla u nižim dijelovima parka (AGENCIJA ZA ZAŠTITU OKOLIŠA, 2015).

Unutar parka nalaze se četiri umjetna jezera, koja doprinose hidrološkoj raznolikosti i pružaju staništa za različite vrste vodene flore i faune. Ova jezera, zajedno s malim potocima i močvarnim područjima, pružaju staništa za vodozemce, ribe, ptice močvarice te brojne beskralješnjake. Šumske zajednice unutar parka pretežno su listopadne, s dominantnim vrstama poput hrasta lužnjaka (*Quercus robur*), graba (*Carpinus betulus*) i bukve (*Fagus sylvatica*), dok su manji dijelovi parka prekriveni crnogoričnim vrstama, poput obične jele (*Abies alba*) i crnog bora (*Pinus nigra*) (AKADEMIJA ŠUMARSKIH ZNANOSTI, 2010).

Flora parka Maksimir uključuje preko 1000 vrsta biljaka, od kojih su mnoge autohtone, ali i značajan broj egzotičnih vrsta koje su unesene u park tijekom njegovog uređenja. Ova bogata flora pruža raznoliko stanište za faunu parka, koja uključuje razne vrste sisavaca, ptica, gmazova, vodozemaca i beskralješnjaka. Ptice su jedna od najznačajnijih skupina unutar parka, s više od 100 zabilježenih vrsta, što čini Maksimir ključnim staništem za ptičje populacije u urbanom području Zagreba.

4.1.3. Ekološki izazovi u parku Maksimir

Unatoč bogatoj bioraznolikosti i ekološkoj važnosti, park Maksimir suočava se s brojnim izazovima koji ugrožavaju njegovu ekološku ravnotežu (MIRT, 2014). Urbanizacija koja okružuje park rezultira fragmentacijom staništa i povećava pritisak na prirodne resurse. Fragmentacija staništa smanjuje povezanost između različitih dijelova parka, što može ograničiti kretanje i migraciju vrsta te smanjiti genetsku raznolikost unutar populacija (MIRT, 2014). Zagađenje je još jedan značajan problem s kojim se suočava park Maksimir. Kao urbani park, Maksimir je izložen zagađenju iz različitih izvora, uključujući promet, industriju i kućanstva. Zagađenje zraka, tla i vode može negativno utjecati na zdravlje biljnih i životinjskih zajednica unutar parka, smanjujući njihovu otpornost na bolesti i druge stresne faktore. Uz to, intenzivna upotreba parka za rekreaciju predstavlja dodatni izazov za očuvanje prirodne ravnoteže. Veliki broj posjetitelja može rezultirati degradacijom staništa, zbijanjem tla, uništavanjem vegetacije te uznemiravanjem divljih životinja. Invazivne vrste predstavljaju još jedan ozbiljan problem, jer mogu nadmašiti autohtone vrste i narušiti ekološku ravnotežu unutar parka (IVANKOVIĆ, 2009).

Klimatske promjene također utječu na ekosustave parka Maksimir. Promjene u klimatskim uvjetima, poput porasta temperatura, promjena u obrascima oborina i povećane učestalosti ekstremnih vremenskih događaja, mogu narušiti prirodne procese unutar parka i dovesti do promjena u sastavu biljnih i životinjskih zajednica (AKADEMIJA ŠUMARSKIH ZNANOSTI, 2010). Kako bi se ublažili negativni učinci ovih izazova, uprava parka provodi različite mjere zaštite prirode, uključujući očuvanje i upravljanje mrtvim drvom (MARTINIĆ, 2010).

4.2. Inventarizacija mrtvog drva u Maksimiru

Inventarizacija mrtvog drva je ključna za razumijevanje njegovog stanja i distribucije unutar parka Maksimir. Ova inventarizacija omogućava donošenje informiranih odluka o očuvanju i upravljanju mrtvim drvom, što je presudno za očuvanje bioraznolikosti u parku.

4.2.1. Metodologija inventarizacije

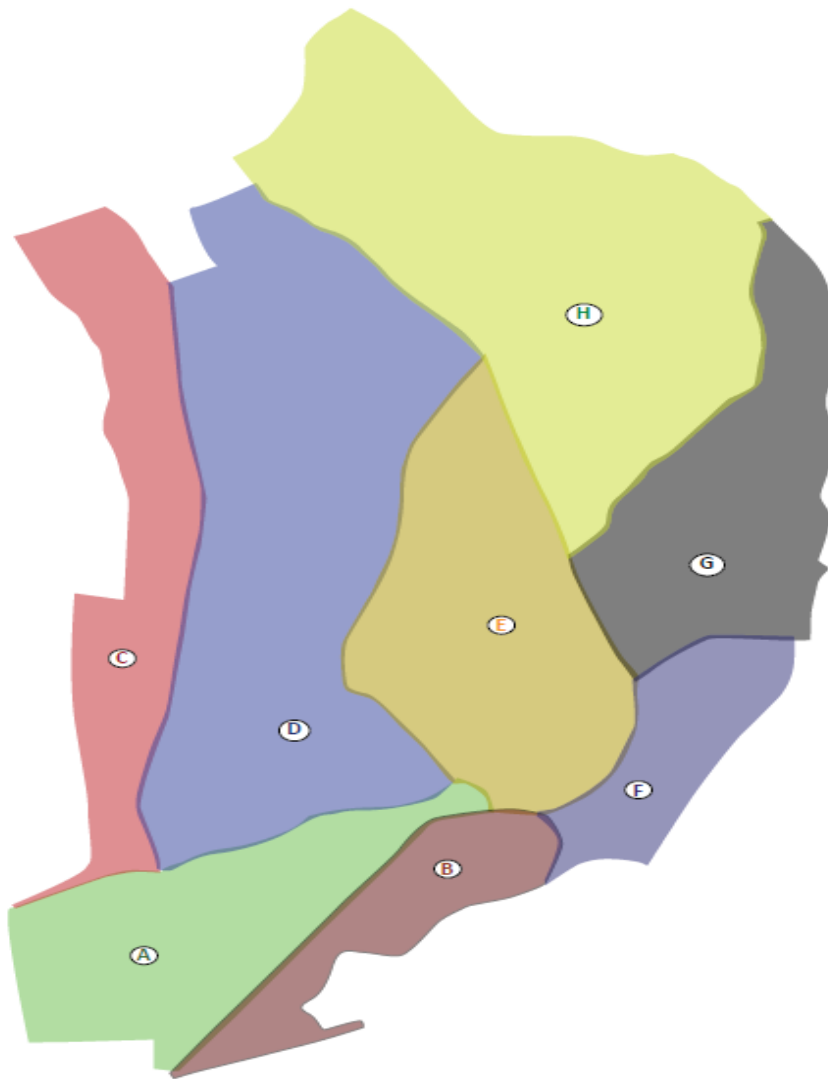
Inventarizacija mrtvog drva u parku Maksimir provedena je korištenjem standardnih metoda koje su uobičajene u šumarstvu i ekologiji, s ciljem prikupljanja podataka o vrsti, veličini, stupnju raspadanja i položaju mrtvog drva. Ova inventarizacija je ključna za razumijevanje uloge mrtvog drva u ekosustavu parka te za planiranje odgovarajućih mjera očuvanja.



Slika br.4 Topografski prikaz parka

Inventarizacija je provedena na odabranim plohama unutar parka Maksimir u vremenskom periodu od travnja do rujna 2023. godine . Plohe su pažljivo odabrane kako bi reprezentirale različite šumske zajednice unutar parka, uključujući mješovite listopadne šume, crnogorične šume te rubna područja i otvorene prostore. Veličina svake plohe kretala se između 0,1 i 1 hektara, ovisno o gustoći vegetacije i raznolikosti staništa.

Svaka ploha je pregledana metodom pješačkog pregleda, pri čemu su svi oblici mrtvog drva detaljno evidentirani (AGENCIJA ZA ZAŠTITU OKOLIŠA, 2015).



Slika br.5 Prikaz ploha

Mrtvo drvo je klasificirano prema nekoliko kriterija unutar aplikacije koja funkcioniра po principu ankete, a podaci su se automatski bilježili u excell tablici. Prvo, razlikovana su stojeća mrtva stabla, ležeća stabla ili grane, panjevi, te nakupine grana. Unutar tih kategorija, mrtvo drvo je dalje klasificirano prema stupnju raspadanja na skali od 1 do 5, pri čemu stupanj 1 označava svježe mrtvo drvo, a stupanj 5 potpuno raspadnuto drvo. Ova klasifikacija omogućuje praćenje promjena u stanju mrtvog drva tijekom vremena i procjenu njegovog utjecaja na ekosustav (HARMON i sur., 1986).

Za svako identificirano mrtvo drvo, zabilježeni su promjer pomoću šumarskog metra u prsnoj visini (DBH) i visina (za stojeća stabla) ili duljina (za ležeća stabla), promjer za panjeve, te površina koju zauzima nakupina grana. Položaj svakog komada mrtvog drva unutar ploha evidentiran je pomoću GPS uređaja, što omogućuje preciznu mapu distribucije mrtvog drva unutar parka. Ova geografska raspodjela mrtvog drva ključna je za razumijevanje prostorne dinamike staništa u parku i za planiranje mjera očuvanja koje uključuju očuvanje heterogenosti staništa (JONSELL i sur., 2007). Podaci su uneseni u Excel tablicu, zatim su analizirani pomoću statističkih softverskih alata za izračunavanje postotka kako bi se utvrdili obrasci u količini, distribuciji i stanju mrtvog drva u parku Maksimir.

Analiza je također uključivala usporedbu ovih podataka s literaturnim izvorima i sličnim studijama provedenim u drugim urbanim šumama, što je omogućilo procjenu važnosti mrtvog drva za lokalnu bioraznolikost. Kao dio inventarizacije, provedena je i procjena prisutnosti vrsta koje koriste mrtvo drvo kao stanište. To je uključivalo vizualni pregled prisutnosti gljiva, kukaca, mahovine na mrtvom drvetu, kao i bilježenje znakova aktivnosti poput rupa od djetlića ili gnijezda u šupljinama. Ova procjena omogućuje bolje razumijevanje ekoloških funkcija mrtvog drva i njegovog doprinosa očuvanju bioraznolikosti u parku (JONSELL i sur., 2007).

5. REZULTATI

U okviru inventarizacije mrtvog drva u parku Maksimir, prikupljeni su detaljni podaci koji omogućuju sveobuhvatnu analizu stanja i distribucije mrtvog drva unutar različitih ploha u parku. Ova analiza temelji se na podacima iz Excel tablice koja sadrži informacije o vrsti drvnog ostatka, stupnju raspadanja, prisutnosti specifičnih karakteristika poput rupa od kukaca, mahovine i bršljana, kao i geografskim koordinatama svakog evidentiranog drvnog ostatka. U ovom poglavlju prikazana je analiza koja obuhvaća kvantifikaciju mrtvog drva, distribuciju faza raspadanja, prisutnost specifičnih karakteristika, te prostornu distribuciju mrtvog drva unutar parka Maksimir.

Jedan od ključnih koraka u analizi mrtvog drva je kvantifikacija ukupnog broja komada mrtvog drva u različitim fazama raspadanja u svakoj od ploha (Slika br 5). Na taj način moguće je dobiti uvid u ekološko stanje svake plohe i njihov doprinos očuvanju bioraznolikosti unutar parka. Većina mrtvog drva unutar parka bila je u stupnju raspadanja 2 i 3, što znači da je drvo već počelo značajno raspadati, ali još uvijek zadržava dio svoje strukturalne čvrstoće. Ovi stupnjevi raspadanja su ključni za održavanje raznolike faune i flore, uključujući saprotrofne gljive, ksilofagne insekte i ptice šupljinarke. Manji dio mrtvog drva bio je u stupnju raspadanja 4 ili 5, što predstavlja drvo koje je gotovo u potpunosti raspadnuto i integrirano s tlom. Podaci pokazuju značajne varijacije između različitih ploha kada je riječ o količini mrtvog drva i njegovom stanju.

Ploha F, na primjer, pokazuje najveću ukupnu količinu mrtvog drva, s 97 komada raspoređenih u različitim fazama raspadanja. Ovo je izuzetno važno, jer velika količina mrtvog drva u različitim fazama raspadanja podržava širok spektar ekoloških funkcija, uključujući staništa za različite organizme i recikliranje hranjivih tvari unutar ekosustava. U plohi F, 23 komada mrtvog drva su u početnoj fazi raspadanja, 31 u srednjoj fazi, dok su 41 komad u jakoj fazi raspadanja. Ova velika prisutnost mrtvog drva u jakom stupnju raspadanja posebno je značajna jer ovakvo drvo pruža staništa za organizme koji ovise o jako raspadnutom drvetu, poput određenih saprotrofnih gljiva i ksilofagnih kukaca.

S druge strane, ploha B pokazuje znatno drugačiju distribuciju, s ukupno 17 komada mrtvog drva, ali nijedno u jakoj fazi raspadanja. Ova ploha očigledno nije toliko bogata resursima koji su ključni za organizme specijalizirane za jako raspadnuto drvo, što može utjecati na bioraznolikost unutar tog dijela parka.

Ploha D je također interesantna jer pokazuje ravnomjernu distribuciju mrtvog drva u srednjoj i jakoj fazi raspadanja, s 16 komada u srednjoj fazi i 17 u jakoj fazi. Ova ploha sadrži ukupno 33 komada mrtvog drva, što ukazuje na visok stupanj prirodnih procesa raspadanja unutar te plohe. Ovakvi uvjeti pružaju optimalna staništa za širok spektar organizama, uključujući gljive, kukaca i ptice koje ovise o raspadajućem drvetu za gniježđenje ili hranjenje.

Ploha E sadrži 27 komada mrtvog drva, od čega je 9 u početnoj fazi raspadanja, 12 u srednjoj fazi, a 6 u jakoj fazi raspadanja. Ovi podaci ukazuju na dobru distribuciju mrtvog drva u različitim fazama raspadanja, što doprinosi ekološkoj stabilnosti ove plohe. Početne faze raspadanja su važne jer omogućuju naseljavanje različitih organizama koji započinju proces razgradnje drvene mase, dok srednje i jake faze raspadanja omogućuju daljnji razvoj ekoloških procesa.

Ploha H sadrži 32 komada mrtvog drva, s 13 komada u početnoj fazi raspadanja, 12 u srednjoj fazi, i 7 u jakoj fazi raspadanja. Ova ploha pokazuje relativno uravnoteženu distribuciju mrtvog drva, što omogućuje stabilan ekosustav s različitim vrstama organizama koje ovise o mrtvom drvu u različitim fazama raspadanja. Ovi podaci pružaju važan uvid u stanje i distribuciju mrtvog drva unutar parka Maksimir te omogućuju donošenje informiranih odluka o očuvanju i upravljanju mrtvim drvom u svrhu očuvanja bioraznolikosti.

Ploha A sadrži 14 komada mrtvog drva, s 2 komada u početnoj fazi raspadanja, 8 u srednjoj fazi i 4 u jakoj fazi raspadanja. Ova ploha sadrži najmanji broj mrtvih drvnih ostataka, a glavni razlog je površina same plohe, te njena pozicija u dijelu parka koji najviše obiluje posjetiteljima.

Tablica br. 1 Distribucija uzoraka po različitim plohama

Ploha	Broj uzoraka	%
F	97	42,98
D	35	15,83
H	33	14,93
E	27	12,21
B	17	7,69
A	14	6,36
UKUPNO	221	100,00

Iz Tablice 1, koja prikazuje distribuciju uzoraka po različitim plohama, može se izvesti nekoliko zaključaka:

1. **Dominacija plohe F:** Ploha F ima najveći broj uzoraka, s udjelom od 42,98% od ukupnog broja. To znači da je gotovo polovica svih uzoraka prikupljena na ovoj plohi, što ukazuje na njezinu dominantnu ulogu u istraživanju. Ova distribucija može sugerirati da je ploha F možda veća, bogatija u drvnim ostacima ili ekološki raznovrsnija od ostalih ploha.
2. **Manja zastupljenost ostalih ploha:** Plohe D, H, i E su također značajno zastupljene, s udjelima od 15,83%, 14,93% i 12,21%. Ove plohe zajedno čine 42,97% uzoraka, što je približno jednako kao i sama ploha F. To ukazuje na priličnu raspodjelu uzoraka među ovim plohama, iako nijedna pojedinačno ne dominira poput plohe F.
3. **Najmanja zastupljenost ploha B i A:** Plohe B i A imaju najmanji broj uzoraka, s udjelima od 7,69% i 6,36%. Ovo sugerira da su ove plohe možda najmanje u smislu površine ili da su ekološki manje bogate u odnosu na druge plohe.
4. **Ukupna raspodjela:** Raspodjela uzoraka po plohama pokazuje značajnu varijabilnost, pri čemu je jedna ploha (F) izrazito dominantna, dok ostale imaju znatno manji broj uzoraka. Ova varijabilnost može imati važne implikacije za analizu ekoloških karakteristika različitih dijelova promatranog područja.

Analiza tablice otkriva nejednaku raspodjelu uzoraka među plohama, s izrazitom dominacijom plohe F. Ovakva raspodjela može odražavati različite ekološke karakteristike ploha, poput veličine, vrste vegetacije ili dostupnosti resursa. Ove informacije su ključne za daljnje razumijevanje dinamike ekosustava unutar promatranog područja. Geografska analiza raspodjele mrtvog drva pokazala je da se većina mrtvog drva nalazi u središnjim dijelovima parka, gdje je antropogeni utjecaj manji.

Rubni dijelovi parka, koji su bliži urbaniziranim područjima, imali su manju količinu mrtvog drva, što može biti posljedica intenzivnijeg održavanja tih područja, uključujući uklanjanje mrtvog drva zbog sigurnosnih razloga ili estetskih preferencija.

Pored kvantifikacije mrtvog drva prema fazama raspadanja, dodatno su analizirani podaci o prisutnosti specifičnih karakteristika mrtvog drva, poput rupa od kukaca, prisutnosti mahovine i bršljana. Ove karakteristike igraju ključnu ulogu u razumijevanju ekoloških funkcija mrtvog drva i njegove važnosti za očuvanje bioraznolikosti.

Jedna od najvažnijih karakteristika mrtvog drva u parku Maksimir je prisutnost rupa od kukaca. Ove rupe su ključne za razmnožavanje i razvoj ksilofagnih kukaca, koji su važni u procesu razgradnje mrtvog drva. Podaci pokazuju da je najveći broj rupa od kukaca prisutan u srednjoj fazi raspadanja mrtvog drva, s ukupno 72 komada mrtvog drva s rupama od kukaca u ovoj fazi. Ovi podaci ukazuju na to da srednja faza raspadanja pruža optimalne uvjete za kolonizaciju ksilofagnih kukaca, što je ključni proces u ekološkoj dinamici šumskog ekosustava. U jakoj fazi raspadanja također je zabilježen visok broj rupa od kukaca, s ukupno 71 komadom mrtvog drva koje pokazuje prisutnost rupa.

Rezultat potvrđuje važnost jako raspadnutog drva kao staništa za specijalizirane vrste kukaca. Početna faza raspadanja ima nešto manje rupa od kukaca, s ukupno 28 komada mrtvog drva, što je očekivano s obzirom na to da je drvo u ovoj fazi još uvijek relativno čvrsto i manje privlačno za kukce.

Tablica br. 2 Faza raspadanja debla ili grane

Faza raspadanja debla ili grane	Broj	%
Početna faza raspadanja	55	24,88
Srednja faza raspadanja	88	39,81
Jaka faza raspadanja	75	33,93
Bez odgovora	3	1,38
UKUPNO	221	100,00

Iz Tablice 2, koja prikazuje faze raspadanja debla ili grane i njihov udio u ukupnom broju uzoraka, mogu se izvesti zaključci kako slijede.

1. **Dominacija srednje faze raspadanja:** Srednja faza raspadanja je najčešća među uzorcima, s 39,81% udjela. Ovo ukazuje da je većina promatranih debala ili grana u fazi kada su već počeli značajno gubiti svoju strukturu, ali još nisu u potpunosti raspadnuti. Ova faza može biti važna za različite ekosustavne funkcije, kao što su stanište za organizme koji se hrane razgradnjom drva ili utjecaj na tlo i hranjive tvari.
2. **Značajna prisutnost jake faze raspadanja:** Jaka faza raspadanja čini 33,93% uzoraka. Ova visoka zastupljenost ukazuje na to da su mnogi uzorci već u uznapređovalom stupnju raspadanja, pri čemu je drvo već izgubilo većinu svoje strukture i čvrstoće. Debla i grane u ovoj fazi raspadanja često postaju još bogatiji izvor hranjivih tvari za tlo i mogu pružiti specifična staništa za određene vrste faune i flore.
3. **Početna faza raspadanja:** Početna faza raspadanja čini 24,88% uzoraka. To znači da je manji dio uzoraka tek počeo pokazivati znakove raspadanja, što može ukazivati na relativno nedavne događaje poput obaranja stabala ili grana, bilo prirodnim procesima (npr. vjetar, oluje) ili ljudskim djelovanjem.
4. **Mali broj neodgovorenih podataka:** Samo 1,38% uzoraka nije imalo odgovor na pitanje o fazi raspadanja. To sugerira da je prikupljanje podataka bilo temeljito, s minimalnim nedostatkom podataka, što doprinosi većoj pouzdanosti rezultata.

Analiza tablice pokazuje da se većina debala i grana nalazi u srednjoj ili jakoj fazi raspadanja, što je važna informacija za razumijevanje stanja šumskog ekosustava. Prisutnost značajnog udjela raspadajućeg drva može imati važne ekološke implikacije, uključujući utjecaj na bioraznolikost i ciklus hranjivih tvari unutar šume. S obzirom na nisku razinu neodgovorenih podataka, ovi rezultati pružaju dobar uvid u faze raspadanja drvnog materijala u promatranom području. Prisustvo mahovine na mrtvom drvu također je važan ekološki pokazatelj. Mahovina igra ključnu ulogu u zadržavanju vlage na površini drveta, što stvara povoljne uvjete za razvoj mikroorganizama i drugih organizama koji sudjeluju u razgradnji drvene mase. Podaci pokazuju da je mahovina najzastupljenija u početnoj fazi raspadanja, s ukupno 30 komada mrtvog drva obraslog mahovinom. Ovaj rezultat sugerira da početna faza raspadanja pruža optimalne uvjete za razvoj mahovine, što može biti povezano s relativno visokom vlažnošću površine drveta u ovoj fazi. U srednjoj fazi raspadanja, mahovina je prisutna na 68 komada mrtvog drva, što također ukazuje na značajnu ulogu mahovine u kasnijim fazama raspadanja. Mahovina može pomoći u ubrzavanju procesa raspadanja, pružajući dodatnu vlagu i mikroklimatske uvjete koji podržavaju razgradnju drvene mase.

U jakoj fazi raspadanja, mahovina je prisutna na 59 komada mrtvog drva, što ukazuje na to da čak i u kasnijim fazama raspadanja, mahovina igra važnu ulogu u ekosustavu.

Bršljan, kao biljka penjačica, također ima važnu ekološku ulogu u šumskim ekosustavima, ali njegova prisutnost na mrtvom drvu može imati različite implikacije. U parku Maksimir, bršljan je prisutan u manjem broju slučajeva u usporedbi s drugim karakteristikama. U početnoj fazi raspadanja zabilježen je samo jedan komad mrtvog drva koji je obrastao bršljanom. U srednjoj fazi raspadanja, prisutnost bršljana je zabilježena na 5 komada mrtvog drva, dok je u jakoj fazi raspadanja bršljan prisutan na 6 komada. Ovi podaci sugeriraju da bršljan preferira drvo koje je već počelo značajnije raspadati. To je vjerojatno zbog toga što bršljan, kao biljka penjačica, lakše kolonizira drvo koje je izgubilo većinu svoje strukturalne čvrstoće, omogućujući mu da se čvrsto učvrsti na površini drveta i nastavi rasti. Bršljan može utjecati na daljnju dinamiku raspadanja drveta, posebno ako njegova prisutnost dodatno zadržava vlagu ili ometa protok zraka, što može usporiti ili ubrzati raspadanje drvene mase.

Prostorna distribucija mrtvog drva unutar parka Maksimir analizirana je na temelju geografskih koordinata prikupljenih tijekom inventarizacije. Ova analiza pomaže razumjeti kako se mrtvo drvo raspoređuje unutar različitih ploha i kako različiti dijelovi parka mogu pružiti različite uvjete za očuvanje bioraznolikosti.

Analizom prosječnih koordinata za svaku plohu, utvrđeno je da se mrtvo drvo nalazi u različitim dijelovima parka, pri čemu su određene plohe bliže urbanim dijelovima parka, dok su druge smještene u središnjim ili manje pristupačnim dijelovima. Prosječne koordinate po plohama su sljedeće:

- Ploha A: Srednje koordinate su 45.822019 (latituda) i 16.016639 (longituda).
- Ploha B: Srednje koordinate su 45.823384 (latituda) i 16.022552 (longituda).
- Ploha D: Srednje koordinate su 45.831859 (latituda) i 16.018093 (longituda).
- Ploha E: Srednje koordinate su 45.828681 (latituda) i 16.021996 (longituda).
- Ploha F: Srednje koordinate su 45.825120 (latituda) i 16.025193 (longituda).
- Ploha H: Srednje koordinate su 45.834939 (latituda) i 16.022716 (longituda).

Ove koordinate pružaju informacije o prostornom rasporedu mrtvog drva unutar parka Maksimir, što je ključno za razumijevanje kako različiti dijelovi parka podržavaju različite ekološke procese. Na primjer, plohe koje su smještene bliže urbanim dijelovima parka, poput plohe B, mogu imati drukčiju distribuciju mrtvog drva u usporedbi s plohama koje su smještene u središnjim dijelovima parka, poput plohe F.

Ploha F, s najvećim brojem komada mrtvog drva, smještena je na sjeveroistočnom dijelu parka, blizu središnjih dijelova parka gdje je ljudski utjecaj relativno manji, a ekološki uvjeti pogodniji za prirodne procese raspadanja. S druge strane, plohe bliže urbanim dijelovima, poput ploha B i E, mogu biti pod većim utjecajem urbanih aktivnosti, što može rezultirati manjom količinom mrtvog drva ili različitim fazama raspadanja u usporedbi s manje pristupačnim dijelovima parka.

Prostorna distribucija mrtvog drva također može ukazivati na različite stupnjeve fragmentacije staništa unutar parka. Ploha D, na primjer, ima relativno ujednačenu distribuciju mrtvog drva, što može ukazivati na dobro očuvanu šumsku zajednicu s minimalnom fragmentacijom. Ovaj tip distribucije podržava visoku razinu bioraznolikosti, jer omogućuje koegzistenciju različitih vrsta koje ovise o različitim stupnjevima raspadanja mrtvog drva.

S druge strane, plohe s nižim stupnjem raspadanja mrtvog drva, poput plohe A, mogu imati više fragmentirano stanište, što može smanjiti mogućnosti za očuvanje specijaliziranih vrsta koje ovise o specifičnim uvjetima unutar raspadajućeg drva. Ovi podaci mogu biti korisni za planiranje budućih mjera zaštite prirode, uključujući ciljana područja za očuvanje mrtvog drva kako bi se podržale specifične ekološke funkcije i očuvala bioraznolikost unutar parka Maksimir.

Na temelju detaljne analize prikupljenih podataka, može se zaključiti da mrtvo drvo u parku Maksimir igra ključnu ulogu u održavanju ekološke stabilnosti i bioraznolikosti. Različite faze raspadanja mrtvog drva pružaju staništa za širok spektar organizama, uključujući saprotrofne gljive, ksilofagne kukce i ptice dupljašice. Očuvanje mrtvog drva, posebno u plohamu gdje su prirodni procesi raspadanja manje zastupljeni, može značajno doprinijeti očuvanju bioraznolikosti u parku.

Tablica br. 3 Vrsta drvnog ostatka

Vrsta drvnog ostatka	Broj	%
Panj (minimalni promjer 30 cm)	125	56,56
Položeno mrtvo deblo ili velike grane (minimalni prsni promjer 10 cm)	63	28,51
Nakupina granja	31	14,02
Stojeće mrtvo stablo (minimalni prsni promjer 10 cm)	2	0,91
UKUPNO	221	100,00

Iz Tablice 3, koja prikazuje različite vrste drvnog ostatka i njihov udio, možemo izvesti nekoliko ključnih zapažanja:

1. **Dominacija panjeva:** Panjevi s minimalnim promjerom od 30 cm čine najveći udio drvnog ostatka, predstavljajući 56,56% od ukupnog broja. Ovo ukazuje na činjenicu da su panjevi najzastupljeniji oblik drvnog ostatka u promatranom području ili studiji. Ova vrsta ostatka može biti rezultat sječe stabala ili prirodnog umiranja, a njihova prisutnost može imati značajan utjecaj na ekosustav, poput utjecaja na tla i staništa za određene vrste.
2. **Položena mrtva debbla i velike grane:** Ova vrsta drvnog ostatka čini 28,51% ukupnog broja. Položena mrtva debbla i velike grane su drugi po zastupljenosti, što može ukazivati na nedavne oluje, prirodni pad stabala, ili aktivnosti vezane uz šumarstvo koje rezultiraju ostankom većih komada drva na tlu.
3. **Nakupina granja:** Nakupine granja predstavljaju 14,02% od ukupnog broja. Ovi ostaci mogu nastati kao rezultat aktivnosti kao što su obrezivanje stabala, prirodni pad grana ili druge šumarske operacije.
4. **Stojeće mrtvo stablo:** Stojeća mrtva stabla su najmanje zastupljena, čineći samo 0,91% ukupnog broja. Iako su rijetka, stojeća mrtva stabla igraju važnu ekološku ulogu, posebno kao staništa za određene vrste ptica, kukaca i drugih organizama.

Analiza pokazuje da je panj najzastupljeniji drveni ostatak, što može biti povezano s određenim šumarskim praksama ili prirodnim procesima u ekosustavu. S druge strane, stojeća mrtva stabla su rijetka, ali ekološki važna. Ovi podaci mogu pomoći u planiranju održivog upravljanja šumama, uzimajući u obzir kako vrstu i količinu drvnog ostatka, tako i njihov utjecaj na okoliš.

Jedan od ključnih rezultata ove analize je važnost srednje i jake faze raspadanja mrtvog drva za očuvanje ekoloških procesa unutar parka. Plohe s visokim brojem komada mrtvog drva u ovim fazama raspadanja, poput plohe F, pokazuju da očuvanje i upravljanje mrtvim drvom u različitim fazama može podržati raznolikost staništa i povećati ukupnu bioraznolikost parka. Osim toga, prisutnost specifičnih karakteristika mrtvog drva, poput rupa od kukaca i mahovine, ukazuje na važnost ovih mikrohabitatnih uvjeta za održavanje zdravlja šumskih zajednica.

Tablica br. 4 Vrsta stabla

Vrsta stabla	Broj	%
Bez odgovora	155	70,13
Hrast	64	28,95
Grab	1	0,46
Lipa	1	0,46
UKUPNO	221	100,00

Iz Tablice 4, koja prikazuje vrstu stabla i njihov udio u ukupnom broju odgovora, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. **Visoki postotak neodgovorenih podataka:** Najveći dio uzorka, čak 70,13%, sastoji se od neodgovorenih podataka (kategorija "Bez odgovora"). To znači da za većinu analiziranih stabala nije zabilježena njihova vrsta. Ovaj podatak ukazuje na mogući nedostatak u prikupljanju podataka ili na potrebu za daljnjim istraživanjem kako bi se popunile ove praznine. Ovaj visok postotak može značajno utjecati na pouzdanost i cjelovitost rezultata te može ukazivati na potrebu poboljšanja metodologije prikupljanja podataka u budućim istraživanjima.
2. **Hrast kao dominantna zabilježena vrsta:** Od identificiranih stabala, hrast je daleko najzastupljenija vrsta, s udjelom od 28,95%. Hrastova stabla su važna u mnogim ekosustavima zbog svoje dugovječnosti, otpornosti i vrijednosti u šumarstvu. Njihova relativno visoka zastupljenost među identificiranim stablima može ukazivati na njihovu dominantnu ulogu u ekosustavu ili na specifičan fokus istraživanja na hrastove.
3. **Minimalna zastupljenost graba i lipe:** Grab i lipa su zabilježeni u vrlo malim postotcima, svaki s udjelom od 0,46%. Ova niska zastupljenost može ukazivati na rjeđu prisutnost ovih vrsta u analiziranom području ili na manju pažnju posvećenu ovim vrstama u istraživanju.

Analiza tablice ukazuje na nekoliko važnih aspekata. Prvo, veliki broj neodgovorenih podataka znatno ograničava cjelokupnu interpretaciju rezultata. Drugo, hrast je dominantna vrsta među zabilježenim stablima, dok su druge vrste stabala poput graba i lipe znatno manje zastupljene. Ovi rezultati sugeriraju potrebu za detaljnijim prikupljanjem i analizom podataka kako bi se dobila potpunija slika o vrsti stabala u promatranom području.

Na temelju ovih podataka, preporučuje se nekoliko mjera za očuvanje i upravljanje mrtvim drvom u parku Maksimir:

1. Očuvanje i povećanje količine mrtvog drva u srednjim i jakim fazama raspadanja

Posebno u plohama gdje su ovi resursi manje zastupljeni. Ovo može uključivati ostavljanje stojećeg mrtvog drva ili dodavanje mrtvog drva u ključnim dijelovima parka kako bi se podržali ekološki procesi i očuvala bioraznolikost.

2. Očuvanje mikrohabitatnih uvjeta

Kao što su prisutnost mahovine i rupa od kukaca, koji su ključni za održavanje ekoloških procesa unutar raspadajućeg drva. Ovo može uključivati minimalno ometanje prirodnih procesa raspadanja i izbjegavanje prekomjernog uklanjanja mrtvog drva koje već pokazuje prisutnost ovih karakteristika.

3. Praćenje prostorne distribucije mrtvog drva

Redovita inventarizacija i analiza prostorne distribucije mrtvog drva može pomoći u prepoznavanju područja koja zahtijevaju dodatnu zaštitu ili upravljanje. Posebna pažnja treba biti posvećena plohama koje su bliže urbanim dijelovima parka, gdje bi mogli postojati veći pritisci na prirodne resurse.

4. Edukacija i podizanje svijesti

Edukacija posjetitelja parka o važnosti mrtvog drva za očuvanje bioraznolikosti može pomoći u smanjenju negativnih učinaka ljudskih aktivnosti na prirodne procese unutar parka.

6. RASPRAVA

Mrtvo drvo u parku Maksimir ima presudnu ulogu u očuvanju lokalne bioraznolikosti, pružajući ključna staništa za različite vrste organizama i osiguravajući kontinuirani ciklus hranjivih tvari unutar ekosustava. Ovaj dio poglavlja detaljno istražuje zastupljenost različitih vrsta organizama koji ovise o mrtvom drvu u Maksimiru, te uspoređuje ove nalaze s drugim šumskim ekosustavima kako bi se razumjela specifična uloga mrtvog drva u urbanom kontekstu. Ova raspodjela ukazuje na potrebu za uravnoteženim pristupom u upravljanju mrtvim drvom, kako bi se očuvala bioraznolikost, ali i zadovoljili sigurnosni zahtjevi. Usporedba rezultata inventarizacije s literaturnim podacima iz drugih urbanih šuma u Europi pokazala je da je količina mrtvog drva u parku Maksimir u skladu s prosječnim vrijednostima za urbane šume. Međutim, starost i stupanj raspadanja mrtvog drva su nešto niži u odnosu na prirodne šume, što ukazuje na potrebu za daljnjim očuvanjem i povećanjem količine mrtvog drva unutar parka kako bi se podržale specijalizirane vrste (JONSELL i sur., 2007).

6.1. Zastupljenost različitih vrsta organizama

Mrtvo drvo unutar parka Maksimir pruža stanište za raznolike organizme, uključujući gljive, insekte, ptice i brojne beskralješnjake, koji su ključni za očuvanje ekološke ravnoteže i funkcionalnosti šumskih zajednica. Jedna od najznačajnijih skupina organizama koje koriste mrtvo drvo kao stanište su gljive. Gljive igraju ključnu ulogu u razgradnji organskih tvari, razlažući složene molekule poput lignina i celuloze na jednostavnije spojeve, što omogućuje vraćanje hranjivih tvari u tlo. U parku Maksimir, prisutnost gljiva na mrtvom drvu je visoka, osobito na drvetu u srednjoj i jakoj fazi raspadanja. Ove gljive ne samo da doprinose recikliranju hranjivih tvari, već također stvaraju specifične mikrohabitate koji podržavaju život drugih organizama, uključujući beskralješnjake i mikroorganizme.

Kukci, posebice ksilofagni (oni koji se hrane drvetom), čine drugu važnu skupinu organizama ovisnih o mrtvom drvu. Ovi kukci koloniziraju mrtvo drvo u različitim fazama raspadanja, ali su najzastupljeniji u srednjoj fazi raspadanja, kada drvo postaje dovoljno mekano da omogućava lakšu penetraciju i hranu. Kukci kao što su obični jelenak (*Lucanus cervus*) i termiti igraju ključnu ulogu u mehaničkom raspadanju drveta, čime doprinose ubrzanju razgradnje i stvaranju uvjeta za daljnju kolonizaciju od strane drugih organizama.

Osim toga, ovi kukci služe kao hrana za brojne druge vrste, uključujući ptice i male sisavce, čime su vitalni dio hranidbenih mreža unutar parka (AKADEMIJA ŠUMARSKIH ZNANOSTI, 2010).

Ptice dupljašice, poput djetlića, su jedna od najvažnijih skupina ptica koje ovise o mrtvom drvu u parku Maksimir. Ove ptice koriste stojeće mrtvo drvo za gniježđenje, bušenje rupa u mekom drvetu, što omogućuje stvaranje gnijezda i skloništa ne samo za njih same, već i za brojne druge vrste koje kasnije koriste ove šupljine. Prisutnost ptica dupljašica ukazuje na važnost mrtvog drva za očuvanje ptičjih populacija unutar parka, a time i na važnost za cjelokupnu bioraznolikost. Mrtvo drvo također predstavlja ključni resurs za brojne beskralješnjake, uključujući mrave, pauke, gujavice i druge male organizme. Ovi organizmi koriste mrtvo drvo kao sklonište i kao izvor hrane, osobito u fazama raspadanja kada se drvo počinje raspadati na manje komade. Prisustvo ovih organizama pomaže u razgradnji organske tvari i doprinosi obogaćivanju tla hranjivim tvarima.

Ukupna zastupljenost ovih organizama u parku Maksimir ukazuje na visoku ekološku vrijednost mrtvog drva, koje podržava složene ekološke mreže i procesima ključne za očuvanje bioraznolikosti. Osiguravanjem raznolikosti staništa kroz očuvanje mrtvog drva, park Maksimir može zadržati visok stupanj bioraznolikosti čak i u urbanom okruženju (FILIPOVIĆ, 2016).

6.2. Usporedba s drugim šumskim ekosustavima

Usporedba uloge mrtvog drva u parku Maksimir s drugim šumskim ekosustavima pomaže u razumijevanju specifičnih izazova i prilika koje donosi očuvanje mrtvog drva u urbanim šumama. U prirodnim, neometanim šumskim ekosustavima, mrtvo drvo je prisutno u velikim količinama i u različitim fazama raspadanja, što osigurava kontinuirani ciklus hranjivih tvari i staništa za raznolike vrste. Takvi ekosustavi obično pokazuju visoku razinu bioraznolikosti zbog prisutnosti velikih količina mrtvog drva. Primjerice, stare bukove šume u srednjoj Europi, gdje mrtvo drvo nije uklanjano, podržavaju bogatu faunu gljiva, kukaca i ptica (CHRISTENSEN i sur., 2005).

Usporedbom s parkom Maksimir, može se primijetiti da iako Maksimir podržava značajnu količinu bioraznolikosti, količina mrtvog drva, posebno u jakom stupnju raspadanja, je manja u odnosu na prirodne šume. To je dijelom rezultat urbanog okruženja u kojem se park nalazi, kao i pritiska zbog održavanja parka za javne potrebe. Ipak, Maksimir uspijeva održati bogatu bioraznolikost zahvaljujući očuvanju određenih dijelova šume, gdje mrtvo drvo nije uklanjano, čime se osiguravaju staništa za specijalizirane vrste. U gospodarskim šumama, mrtvo drvo se često uklanja radi sprječavanja šumskih požara ili povećanja gospodarske vrijednosti šume, što može negativno utjecati na bioraznolikost. U takvim šumama, razina bioraznolikosti je često niža zbog nedostatka staništa za vrste koje ovise o mrtvom drvu. Međutim, u novije vrijeme sve se više prepoznaje važnost mrtvog drva, pa se provode mjere za očuvanje određenih količina mrtvog drva unutar gospodarskih šuma (MATOVIĆ i sur., 2013).

U usporedbi s gospodarskim šumama, park Maksimir ima prednost u očuvanju mrtvog drva zbog svoje specifične namjene kao parkovne i prirodne zone (BOSAK, 2008). Iako je potrebno balansirati između očuvanja prirode i sigurnosti posjetitelja, Maksimir pokazuje relativno visoku razinu bioraznolikosti koja je potpomognuta prisutnošću mrtvog drva. Ovo ukazuje na važnost urbanih parkova poput Maksimira u očuvanju bioraznolikosti u područjima gdje prirodni ekosustavi više nisu dominantni. Urbanizirane šume, poput parka Maksimir, često su pod velikim pritiskom zbog blizine urbanih područja i intenzivnog korištenja od strane ljudi. Očuvanje mrtvog drva u ovakvim šumama može biti izazovno zbog sigurnosnih razloga i potrebe za održavanjem parka. Međutim, park Maksimir pokazuje da je moguće održati visoku razinu bioraznolikosti i u urbaniziranim šumama, pod uvjetom da se mrtvo drvo očuva i pravilno upravlja. U usporedbi s drugim urbanim šumama, Maksimir je primjer uspješnog upravljanja mrtvim drvom koje doprinosi očuvanju bioraznolikosti. Raznolikost organizama prisutnih na mrtvom drvu u Maksimiru potvrđuje važnost ovih resursa za održavanje zdravlja šumskih ekosustava čak i u uvjetima urbanizacije. Očuvanje mrtvog drva u Maksimiru pruža ne samo ekološke prednosti, već i obrazovnu i rekreativnu vrijednost za posjetitelje parka, koji mogu bolje razumjeti i cijiniti važnost očuvanja prirodnih resursa.

7. ZAKLJUČCI

Rad predstavlja sveobuhvatan pregled i analizu značaja mrtvog drva kao ključnog ekološkog resursa u urbanom parku Maksimir. Kroz ovaj rad obuhvaćeni su svi važni aspekti vezani uz klasifikaciju mrtvog drva, njegovu ulogu u ekosustavu, te specifične ekološke implikacije za bioraznolikost unutar parka Maksimir. Jedan od glavnih zaključaka ovog istraživanja jest da mrtvo drvo ima ključnu ulogu u održavanju bioraznolikosti šumskih ekosustava. Raspadanje mrtvog drva omogućuje stvaranje raznolikih mikrostanišnih uvjeta koji podržavaju širok spektar organizama, uključujući gljive, kukce, ptice i beskralješnjake. Svježe mrtvo drvo pruža čvrstu strukturu koja je pogodna za gniježđenje ptica, dok jako raspadnuto drvo omogućuje naseljavanje specijaliziranih vrsta gljiva i kukaca, čime se osigurava kontinuirani ciklus hranjivih tvari unutar ekosustava. Rezultati inventarizacije mrtvog drva u parku Maksimir pokazali su varijabilnu raspodjelu mrtvog drva po plohama, s najvećom količinom u plohama F i H, koje su smještene u središnjim i manje pristupačnim dijelovima parka. Ove plohe, s visokom prisutnošću mrtvog drva u različitim fazama raspadanja, imaju potencijal za podršku širokoj bioraznolikosti i očuvanju ekoloških procesa unutar parka. Nasuprot tome, plohe bliže urbanim dijelovima parka, poput ploha A i B, imaju manju količinu mrtvog drva, što može ograničiti bioraznolikost unutar tih dijelova.

Prisutnost specifičnih karakteristika mrtvog drva, poput rupa od kukaca, mahovine i bršljana, dodatno naglašava njegovu važnost kao staništa za različite organizme. Rupe od kukaca najviše su zastupljene u srednjoj i jakoj fazi raspadanja, što ukazuje na to da su ove faze ključne za ksilofagne kukce. Mahovina, koja je najviše prisutna u početnoj fazi raspadanja, igra važnu ulogu u zadržavanju vlage i stvaranju povoljnih mikroklimatskih uvjeta za daljnju razgradnju drvne mase. Bršljan, iako manje zastupljen, također ima ekološku važnost, posebno u kasnijim fazama raspadanja, kada pomaže u održavanju stabilnosti mrtvog drva i pruža dodatno stanište za organizme.

Usporedba s drugim šumskim ekosustavima pokazala je da, iako je količina mrtvog drva u Maksimiru manja u usporedbi s prirodnim šumama, park ipak uspijeva održati visoku razinu bioraznolikosti zahvaljujući očuvanju ovih resursa. Maksimir, kao urbani park, suočava se s izazovima poput fragmentacije staništa i pritiska urbanizacije, ali i dalje zadržava vitalne ekološke funkcije zahvaljujući prisutnosti mrtvog drva.

Ovaj park može poslužiti kao model za očuvanje bioraznolikosti u drugim urbanim sredinama, demonstrirajući kako pravilno upravljanje prirodnim resursima može podržati bogatu faunu i floru unutar urbanog okruženja.

Kroz očuvanje mrtvog drva, park Maksimir doprinosi ne samo ekološkoj stabilnosti, već i edukaciji i rekreaciji posjetitelja, koji kroz interakciju s prirodom mogu naučiti o važnosti očuvanja prirodnih resursa. Očuvanje mrtvog drva u parku Maksimir pruža ne samo ekološke prednosti, već i obrazovnu i rekreativnu vrijednost za posjetitelje parka, koji mogu bolje razumjeti i cijiniti važnost očuvanja prirodnih resursa.

Mrtvo drvo u parku Maksimir igra ključnu ulogu u očuvanju ekološke ravnoteže i bioraznolikosti. Njegova očuvanje i pravilno upravljanje osiguravaju dugoročno zdravlje šumskih ekosustava u urbanom kontekstu, pružajući model za očuvanje bioraznolikosti u sličnim urbanim parkovima širom svijeta. Park Maksimir, kao primjer uspješnog očuvanja mrtvog drva, pokazuje kako i u urbanim sredinama prirodni resursi mogu biti održivi, doprinoseći očuvanju prirode i poboljšanju kvalitete života svih posjetitelja.

„Pod punom odgovornošću vlastoručnim potpisom potvrđujem da je ovo moj autorski rad čiji niti jedan dio nije nastao preslikavanjem, kopiranjem ili plagiranjem tuđeg sadržaja. Prilikom izrade rada koristio sam tuđe radove navedene u popisu literature, ali nisam kopirao niti jedan njihov dio osim citata za koje sam naveo autora i izvor te ih jasno označio navodnim znakovima. U slučaju da se u bilo kojem trenutku dokaže suprotno, spreman sam snositi sve posljedice uključujući i poništenje javne isprave stečene dijelom i na temelju ovog rada.“

U Karlovcu, 25. listopada 2024.

Juraj Crnčan

8. LITERATURA

1. AGENCIJA ZA ZAŠTITU OKOLIŠA (2015): Kartiranje i procjena ekosustava i njihovih usluga u Hrvatskoj, Zagreb.
2. ANIĆ, I., ORŠANIĆ, M. (2010): Park – šume grada Zagreba. Akademija šumarskih znanosti, Grad Zagreb, Gradski Ured za poljoprivredu i šumarstvo, Hrvatske šume d.o.o. Zagreb, Uprava šuma podružnica Zagreb, Zagreb.
3. ANIĆ, I. (2004): Prašume i njihovo značenje za gospodarenje šuma u Hrvatskoj. Glasnik zaštite bilja 6, 85-96.
4. ARAČ, K., M. PERNEK (2014): Pojava i širenje velikog ariševog potkornjaka (*Ips cembrae*) u Hrvatskoj i mogućnosti monitoringa primjenom feromonskih klopki. Šumarski list 3-4, 145-154.
5. BEGOVIĆ, K. (2016): Klimatski odziv stabala obične smreke (*Picea abies* (L.) H. Karst) i obične jele (*Abies alba* Mill.) na području Sjevernog Velebita. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb.
6. BOSAK, M. (2008): Značaj zelenih površina za socijalni život grada: Primjer parka Maksimir. Diplomski rad, Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
7. CHRISTENSEN, M., K. HAHN, E. P. MOUNTFORD, P. ODOR, T. STANDOVAR, D. ROZENBERGAR, J. DIACI, S. WIJDEVEN, P. MEYER, S. WINTER, T. VRSKA (2005): Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *Forest Ecology and Management*. 210, pp. 267–282.
8. FILIPOVIĆ, H. (2016). Mikroklimatska obilježja i usluge ekosustava parka Maksimir. Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
9. GURNELL, A., PIÉGAY, H., SWANSON, F., & GREGORY, S. (2002). Large Wood and Fluvial Processes. *Freshwater Biology*, 47, 601 - 619.
10. HARMON, M. E., J. F. FRANKLIN, F.J. SWANSON, P. SOLLINS, S. V. GREGORY, J. D. LATTIN, N. H. ANDERSON (1986): Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research*. 15, pp. 133-302.
11. HARTMANN, G., NIENHAUS, F., & BUTIN, H. (2007). Atlas šumskih oštećenja: Dijagnoze bolesti drveća. ITD Gaudeamus, Požega Stuttgart.

12. HRAŠOVEC, B. I FRANJEVIĆ, M. (2011). Šumarska entomologija: Posebni dio, Pregled najznačajnijih vrsta šumskih kukaca i njihova osnova biološka obilježja. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za zaštitu šuma i lovno gospodarstvo, Zagreb.
13. IVANKOVIĆ, V. (2009): Objekti perivoja Maksimir. Javna ustanova „Maksimir“, Zagreb.
14. JABIN, M., MOHR, D., KAPPES, H., & TOPP, W. (2004). Influence of deadwood on density of soil macro-arthropods in managed oak-beech forest. *Fuel and Energy Abstracts*, 194.
15. JONSELL, M., K. NITTÉRUS, K. STIGHÄLL (2007): Saproxylic beetles in natural and man-made deciduous high stumps retained for conservation. *Biological Conservation*, 138 (3-4), 354-363.
16. Kiš, D. (1998). Hrvatski perivoji i vrtovi. Zagreb. Prometej.
17. KRALJ, J., N. TVRTKOVIĆ, B. HRAŠOVEC (2006): Utjecaj načina upravljanja šumama na bogatstvo i raznolikost faune na području N.P. Plitvička jezera i šumarije Vrhovine te preporuke za razradu strategije upravljanja šumama Nacionalnog parka. Završna studija, Zagreb.
18. MARTINIĆ, I. (2010): Upravljanje zaštićenim područjima prirode, Planiranje, razvoj i održivost. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, str.
19. MARUŠEVSKI, O. (1992). Maksimir – spomenik kulture, Institut za povijest umjetnosti, Zagreb.
20. MATOVIĆ, B. (2013). Dead wood in managed beech forests in Serbia. *Sumarski List*, 137, 173-183.
21. MIRT, I. (2014): Park Maksimir u turističkoj ponudi grada Zagreba. Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
22. OSTROGOVIĆ, M.Z., MARJANOVIĆ, H., BALENOVIC, I., SEVER, K., JAZBEC, A. (2015). Decomposition of Fine Woody Debris from Main Tree Species in Lowland Oak Forests, 77-80.
23. PASTORELLI, R., De MEO, I. & LAGOMARSINO, A. (2023). The Necrobiome of Deadwood: The Life after Death. *Ecologies*, 4(1), 20-38.
24. YANG, S., LIMPENS, J., STERCK, F.J., SASS-KLAASSEN, U.G., CORNELISSEN, J.H., HEFTING, M.M., VAN LOGTESTIJN, R.S., GOUDZWAARD, L., DAM, N., DAM, M., VEERKAMP, M.T., VAN DEN BERG,

B., BROUWER, E., CHANG, C., & POORTER, L. (2021). Dead wood diversity promotes fungal diversity, *Oikos*, 125, 51-53.

PRILOZI

Prilog 1. Tablica inventarizacije