

Utjecaj oštećenja korijenskoga sustava na stabilnost i proizvodnju sekundarnog ksilema urbanih stabala hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)

Šikić, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:108:756891>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-06**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE

ŠUMARSKI ODSJEK

DIPLOMSKI STUDIJ
URBANO ŠUMARSTVO, ZAŠTITA PRIRODE I OKOLIŠA

IVA ŠIKIĆ

UTJECAJ OŠTEĆENJA KORIJENSKOG SUSTAVA
NA STABLNOST I PROIZVODNJU SEKUNDARNOG
KSILEMA URBANIH STABALA HRASTA KITNJAKA
(*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, travanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE

ŠUMARSKI ODSJEK

**UTJECAJ OŠTEĆENJA KORIJENSKOG SUSTAVA NA STABLNOST I
PROIZVODNJU SEKUNDARNOG KSILEMA URBANIH STABALA
HRASTA KITNJAKA (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Urbano šumarstvo, zaštita prirode i okoliša
Predmet: Sanacija i konzervacija stabala

Ispitno povjerenstvo:

1. izv. prof. dr. sc. Vinko Paulić
2. doc. dr. sc. Iva Ištók
3. prof. dr. sc. Damir Ugarković

Student: Iva Šikić
JMBAG: 00682305129

Datum odobrenja teme: 10. 4. 2024.

Datum predaje rada: 19. 4. 2024.

Datum obrane rada: 26. 4. 2024.

Zagreb, travanj 2024.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

naslov	Utjecaj oštećenja korijenskog sustava na stabilnost i proizvodnju sekundarnog ksilema urbanih stabala hrasta kitnjaka (<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.)
autor	Iva Šikić
adresa	Dobri dol 21, 10 000 Zagreb; e-mail: iva.sikic11@gmail.com
mjesto izrade	Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
godina objave	2024.
izvorni jezik	hrvatski
zemlja objave	Hrvatska
vrsta objave	Diplomski rad
obujam	Br. Str. I-VIII + 58 Br. Tablica 23 br. Slika 26
ključne riječi	Urbana stabla, iskop, potezni test, stabilnost stabla, metoda mikro izvrtaka, sekundarni ksilem, lumen traheja, zona korijena
sažetak	<p>Urbana stabla u gradovima sve su češće izložena građevinskim zahvatima u njihovoj neposrednoj blizini. Građevinski zahvati mogu oštetiti nadzemne, ali i podzemne dijelove stabla. Specifična oštećenja nastaju zbog zamjene podzemne infrastrukture iskopima u zoni korijena kojima se dio korijena oštećuje i uklanja. Takvi zahvati za posljedicu mogu imati fiziološki stres, smanjenje stabilnosti i smanjeni rast. Dugoročno, posljedice za stablo mogu ishoditi smanjenim životnim vijekom.</p> <p>Istraživanje je provedeno park-šumi Dotrščina na dvanaest stabala hrasta kitnjaka (<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.). Stabla su oštećivana na dva metra, jedan metar od debla i uz samo deblo. Ponovljenim poteznim testom ispitivan je utjecaja oštećivanja i uklanjanja korijena na stabilnost stabala, dok je metodom mikro izvrtaka ispitivan utjecaj oštećenja na formiranje sekundarnog ksilema.</p> <p>Rezultati istraživanja utjecaja oštećenja na stabilnost stabala ukazuju da iskopi uz samo deblo značajno utječu na smanjenje stabilnosti, dok se s povećanjem udaljenosti iskopa od debla utjecaj na stabilnost smanjuje.</p> <p>Analizom anatomskih karakteristika sekundarnog ksilema (udio, promjer i površina lumena traheja) nije utvrđeno da su oštećivanja korijenskog sustava utjecala na lumene traheja prvoga goda.</p>

DOCUMENTATION CARD

title	Effects of trenching on root stability and secondary xylem production of urban sessile oak trees (<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.)
author	Iva Šikić
address	Dobri dol 21, 10 000 Zagreb; e-mail: iva.sikic11@gmail.com
year of publication	2024
Text language	Croatian
Geo. Headings	Croatia
Publication Type	Master's thesis
key words	Urban trees, excavations, pulling test, tree stability, microcoring technique, secondary xylem, tracheal lumen, root zone, trenching
abstract	<p>Urban trees are increasingly exposed to construction. Construction operations can damage above ground and underground parts of the tree. Specific damage occurs due to the replacement of underground infrastructure with excavations in the root zone. Excavations can cause damage on the root system. Such interventions can result in physiological stress, reduced stability, and reduced growth of the tree. In the long term, the consequences for the tree can result in a reduced lifespan.</p> <p>The research was conducted in the Dotrščina park-forest on twelve sessile oak trees (<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.). The trees were damaged two meters from the trunk, one meter from the trunk and tangential to the trunk.</p> <p>The impact on stability damaging the roots was investigated using a pulling test, while the impact on the formation of secondary xylem was investigated using the microcoring technique.</p> <p>The results of the research on the impact on stability show that excavation tangential to the trunk significantly affects the stability, while increasing the distance of the excavation from the trunk reduces the impact on stability.</p> <p>Analyzing the anatomical characteristics of the secondary xylem (area, diameter, and surface of the tracheal lumen) did not determine that damage to the root system affected the tracheal lumen.</p>



**IZJAVA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

OB FŠDT 05 07

Revizija: 2

Datum: 29.04.2021.

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 19. travnja 2024. godine

vlastoručni potpis

Iva Šikić

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Urbano šumarstvo	1
1.2. Urbane šume kao dio zelene infrastrukture	2
1.3. Koristi urbanih šuma	3
1.4. Uvjeti za razvoj stabala u urbanom okolišu	3
1.4.1. Tlo i korijen u urbanom okolišu	4
1.4.2. Građevinski zahvati u zoni korijenskog sustava urbanih stabala	5
1.4.3. Zaštita stabla tijekom izvođenja građevinskih radova određivanjem zona zaštita korijenskog sustava	6
1.4.4. Standardi za zaštitu stabala tijekom izvođenja građevinskih radova	7
1.4.4.1. Arbokulturni standard (<i>Arborist standards protection of woody plants during development activities</i>), Češka	7
1.4.4.2. Pravilnik zaštite stabala pri građevinskim radovima u blizini stabala (<i>Tree Protection Policy and Specifications for Construction Near Trees</i>), Kanada	8
1.4.4.3. Britanski standardi (<i>British standard, BS 5837:2012</i>), Velika Britanija	8
1.4.4.4. Odluka o komunalnom redu u Zagrebu	9
2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA	10
3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA	10
3.1. Područje istraživanja	10
3.2. Zemljopisni položaj	11
3.3. Reljef, geološka podloga i tlo	11
3.3.1. Reljef.....	11
3.3.2. Geološka podloga i tlo	12
3.4. Klimatska obilježja	12
3.4.1. Klima	12
3.4.2. Temperatura zraka i oborine	15
3.4.3. Vjetar	16
3.5. Lokacija istraživanja	19
3.5.1. Vrsta stabala	19
3.5.2. Anatomska građa drva hrasta kitnjaka	19

3.5.3. Opis odabranih stabala	20
3.6. Tretmani oštećivanja korijenskog sustava	21
3.7. Potezni test	23
3.7.1. Analiza podataka stabilnosti stabala.....	26
3.8. Uzorkovanje mikro izvrtaka (eng. microcores)	27
3.9. Izrada trajnih histoloških preparata	27
3.9.1. Priprema mikro izvrtaka za proces uklapanj	27
3.9.2 Proces dehidracije	28
3.9.3. Uklapanje mikro izrtaka u parafinske blokove	28
3.9.4. Rezanje poprečnog presjeka	28
3.9.5. Bojanje uzoraka.....	28
3.9.6. Izrada trajnih histoloških preparata	31
3.9.7. Analiza anatomskih karakteristika	32
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	33
4.1. Utjecaj oštećenja korijenskog sustava na stabilnost stabala	33
4.2. Utjecaj oštećenja korijenskog sustava na formiranje sekundarnog ksilema	33
5. RASPRAVA	44
6. ZAKLJUČCI	50
7. LITERATURA	50

ZAHVALA

Zahvala mojemu mentoru, izv. prof. dr. sc. Vinku Pauliću na pruženoj prilici da moju ideju zajedno provedemo u djelo.

Zahvala mojoj komentorici, doc. dr. sc. Ivi Ištok na posvećenosti, trudu i podršci tijekom istraživanja i pisanja ovoga diplomskoga rada te na vratima koja mi je otvorila prema svijetu anatomije drva.

Zahvala radnoj jedinici Urbano šumarstvo na pomoći oko terenskih radova te posebno gospodinu Damiru.

Zahvala dr.sc. Domagoju Trlini, Marku Oreškoviću, dip.ing.šum i Hrvoju Baraću, dip.ing.šum na pomoći prilikom terenskoga rada.

Zahvala cijelome timu s Biotehnološkog fakulteta, Sveučilišta u Ljubljani. Posebna zahvala Angeli Balzano na svemu čemu me je naučila, izvanrednom profesoru Maksu Mereli na pruženoj prilici i Luku Krže na FAA-u.

Zahvala prof. dr. sc. Anamariji Jazbec na pomoći oko statističke obrade podataka, ali i na svojoj podršci prilikom pisanja rada.

Zahvala izv.prof.dr.sc. Ernestu Goršiću na posuđenom Trephoru.

Zahvala Gordani Orešković, mag. ing. tech. lign. za svu pomoć i savjete oko histoloških preparata.

Zahvala cijelome Zavodu za veterinarsku patologiju, Veterinarskog Fakulteta što su mi omogućili uklapanje mojih uzoraka te posebna hvala laboranticama i prof. dr. sc. Andrei Gudan Kurilj jer bez njihove pomoći to meni bilo moguće.

I na kraju,

hvala mojoj Emmi bez koje puno toga ne bi bilo ostvareno.

Hvala mojoj Kumi Vesni bez koje put u Ljubljanu ne bi bio moguć.

Hvala mojem bratu matematičaru na pomoći oko baza i grafova.

Hvala mojim roditeljima i mojem Linu jer su bili tu kada je trebalo.

POPIS SLIKA

Slika 1. Bokocrt i tlocrt zona zaštite korijenskog sustava

Slika 2. Karta položaja gospodarske jedinice „Dotrščina“

Slika 3. Klima dijagrami prema Walteru za meteorološke postaje na području Grada Zagreba za razdoblje 1960. – 2004.

Slika 4. Usporedba sa srednjakom za razdoblje 1925-2022. Zagreb-Maksimir

Slika 5. Količina oborina za 2023. godinu, mjerna postaja Maksimir

Slika 6. Količina oborina za mjesece ožujak (lijevo) i rujan (desno) u 2023. godini, mjerna postaja Maksimir

Slika 7. Ruža vjetra za srednje desetominutne brzine (lijevo) te ruža udara vjetra (maksimalne sekundne brzine vjetra u 10-minutnom intervalu; desno) na GMP Zagreb Maksimir u razdoblju 2000. – 2022.

Slika 8. Karta odjela gospodarske jedinice „Dotrščina“ (Program gospodarenja 2015.-2024.) s prikazom položaja odabranih stabala unutar odjela 15a i 14a

Slika 9. Areal hrasta kitnjaka

Slika 10. Iskopi na 2, 1 i 0 metara od debla

Slika 11. Prikaz tretmana – bokocrt (na 0 m, 1 m i 2 m udaljenosti do debla)

Slika 12. Prikaz tretmana – tlocrt (na 0 m, 1 m i 2 m udaljenosti od debla)

Slika 13. statički trokut stabla

Slika 14. Položaj elastometara i inklinometara na stablu

Slika 15. Shematski prikaz poteznog testa Tree Quinetic (Argus electronic)

Slika 16. koraci uzimanja uzoraka Trephorom

Slika 17. Koraci izrade trajnih histoloških preparata

Slika 18. Poprečni presjek floema, ksilema i kambija (LT – lumen traheje; SK – stanice kambija)

Slika 19. Poprečni prijesjek floema, ksilema i kambija (LT – lumen traheje; crvene strelice – lumeni traheja; plave strelice – granica goda; žute strelice – stanice kambija)

Slika 20. Program ImageJ

Slika 21. Program ImageJ

Slika 22. Program ImageJ

Slika 23. Aktivacija senzora za grupu 0 (stabla 4, 5 i 7)

Slika 24. Aktivacija senzora za grupu 1 (stabla 2, 6 i 11)

Slika 25. Aktivacija senzora za grupu 2 (stabla 1, 3 i 8)

Slika 26. Aktivacija senzora za grupu kontrola (stabla)

POPIS TABLICA

Table 1. Koristi i utjecaj urbanih šuma i urbanih stabala

Tablica 2. Primjer određivanja zone A (Kritična zona korijena) i zone B (Zona krošnje) za stabla različitih prsnih promjera

Tablica 3. Klase prsnih promjera i promjera zone zaštite

Tablica 4. Opis formule umjereno tople kišne-kontinentalne klime

Tablica 5. Osnovni podatci o odjelima, sastojini i staništu

Tablica 6. Deskriptivni podatci za odabrana stabla

Tablica 7. deskriptivna statistika mjerenih parametara

Tablica 8. Deskriptivna statistika zona korijena po grupama stabala

Tablica 9. Tehničke karakteristike instrumenata koji se koriste u sustavu poteznog testa

Tablica 10. Dani u godini kada su se provodila uzorkovanja

Tablica 11. Izračunati momenti savijanja žilišta prije i nakon tretmana za stabla koja su tretirana iskopom na 0 m od debla (stabla 4, 5 i 7)

Tablica 12. Izračunati momenti savijanja žilišta prije i nakon tretmana za stabla koja su tretirana iskopom na 1 m od debla (stabla 2, 6 i 11)

Tablica 13. Izračunati momenti savijanja žilišta prije i nakon tretmana za stabla koja su tretirana iskopom na 2 m od debla (stabla 1, 3 i 8)

Tablica 14. Izračunati momenti savijanja žilišta prije i nakon tretmana za kontrolna stabla koja nisu tretirana (stabla 9, 10 i 12)

Tablica 15. Aktivacija senzora

Tablica 16. Analiza varijanci za inklinometar paralelan na smjer potezanja (svi potezi)

Tablica 17. Analiza varijanci za inklinometar okomit na smjer potezanja (svi potezi)

Tablica 18. Analiza varijanci za inklinometar paralelan na smjer potezanja (treći potez prije i treći potez nakon tretiranja)

Tablica 19. Analiza varijanci za inklinometar okomit na smjer potezanja (treći potez prije i treći potez nakon tretiranja)

Tablica 20. Deskriptivna statistica udjela lumena traheja

Tablica 21. Analiza varijanci ponovljenih mjerenja udjela lumena traheja

Tablica 22. Analiza varijanci ponovljenih mjerenja promjera lumena traheja

Tablica 23. Analiza varijanci ponovljenih mjerenja površina lumena traheja

1. UVOD

1.1. Urbano šumarstvo

Koncept urbanog šumarstva je poznat od 60. godina prošlog stoljeća, međutim postao je aktualan posljednjih 30-ak godina. Ova multidisciplinarna disciplina šumarstva u fokus stavlja gradske zelene površine i drvenastu vegetaciju koja se razvoja na njima (Konijnendijk 2003). Koncept urbanog šumarstva proučava zelene površine iz integrativne perspektive, uzimajući u obzir pojedine elemente zelenih površina kao dio integralne cjeline (Miller 1997, Randrup i dr. 2005). Obuhvaća različite kategorije urbanih zelenih površina (engl. green space), a oslanja se na tradicionalnu europsku praksu gospodarenja gradskim šumama (engl. town forest, njem. Stadtwald) (Konijnendijk 1999, Konijnendijk 2007).

S obzirom na ovu širinu koncepta urbanog šumarstva postoji više različitih pristupa koje se mogu promatrati kroz definicije pojma što je to urbano šumarstvo. Najšire je prihvaćena definicija urbanog šumarstvo, prema Milleru (1997) koji definira urbano šumarstvo kao umjetnost, znanost i tehnologiju gospodarenja drvećem i šumom. Na ovu definiciju se nadovezuje Helms (1998) koji ovu urbano šumarstvo definira kao umjetnost, znanost i tehnologiju gospodarenja (upravljanja) stablima i šumskim resursima u urbanim područjima i oko njih za fiziološke, sociološke, ekonomske i estetske koristi koje stabla pružaju društvu.

1.2. Urbane šume kao dio zelene infrastrukture

U kontekstu prostornog planiranja gradskim područjima urbane šume dio su gradske zelene infrastrukture (eng. green infrastructure) pa se tako da se obuhvat pojama urbanih šuma djelomično preklapa, odnosno sastavni je dio zelene infrastrukture nekog naselja.

Zelena infrastruktura (ZI) široki je pojam koji je definiran kao (EC 2013) mreža zelenih površina, staništa, ekosustava unutar određene geografske regije koja može obujmiti prostor cijele države, regije te manje površine na razini naselja. Zelena infrastruktura obuhvaća prirodne, poluprirodne i/ili urbane otvorene površine od močvarnih područja do urbanih parkova. U Hrvatskoj Zakonu o zaštiti prirode (NN 80/13, 15/18), navodi sa je zelena infrastruktura multifunkcionalna mreža zaštićenih i ostalih prirodnih te čovjekovim djelovanjem stvorenih područja i krajobraza visoke ekološke i okolišne vrijednosti koja unapređuje ekosustavske usluge.

Pojam urbanih šuma je također definiran u Hrvatskoj prema Zakonu o šumama (2018) koji navodi da urbane šume su šume i šumska zemljišta planirana prostornim planovima unutar ili uz građevinsko područje naselja, a znatno utječu na kvalitetu života stanovnika naselja. Također ovaj pojam obuhvaća šume čija je namjena stvaranje potrebnih uvjeta za odmor i rekreaciju posjetitelja te šume unutar obuhvata kampova, igrališta za golf i drugih sportsko-rekreacijskih područja. Ova definicija urbanih šuma se razlikuje od ostalih definicija koje se koriste u drugim državama, iako radi kompleksnosti ovog područja, pojam urbane šume ne posjeduje univerzalno prihvaćenu definiciju.

Neovisno o definiraju pojma, postoji suglasnost unutar struke da se pojam urbane šume koristi u kontekstu šuma ili drugih manjih ekosustava sličnim šumama u urbanim područjima kojima je osnovna sastavnica prisutnost stabala. Miller (1997) urbane šume definira kao zbroj sve

drvenaste i povezane vegetacije u gusto naseljenim područjima i oko njih, od malih zajednica u ruralnim naseljima do velikih gradskih regija.

Urbane šume su najvažnija su sastavnica zelene infrastrukture (Konijnendijk i dr. 2018). One se mogu dodatno raščlaniti na nekoliko tipova i podtipova urbanih šuma prema kojima s obzirom na tipološke razlike razdvajamo urbane šume od pojedinačnih stabla. Kada govorimo o pojedinačnim stablima, razlikujemo drvoredna stabla, stabla u parkovima, privatnim ili javnim vrtovima, na grobljima, unutar sportskih objekata i sličnih područja.

1.3. Koristi urbanih šuma

Urbane šume kao i urbana stabla najistaknutiji su element urbanog zelenila radi brojnih koristi (eng. benefits) koje pružaju gradskom stanovništvu. Kroz njihove blagodati prisutnost šuma i stabala u urbanim područjima dobiva dodatnu dimenziju čime se naglašava njihova utilitarnost. Velik je značaj urbanog šumarstva i urbanih stabala koja u gradskim sredinama pružaju brojne koristi. Njih definiramo kao općekorisne funkcije šuma, a očituju se kao društvene i ekološke funkcije koje šuma pruža svojoj okolini (Prpić 1992). Punu potvrdu svoje vrijednosti glede općekorisnih funkcija svakim danom sve više doživljavaju šume koje se nalaze u okruženju ili neposrednoj blizini naselja (Matić i Prpić 1997). Opće je prihvaćeno da gradske zelene površine (eng. urban green areas) ostvaruju široki raspon socijalnih, ekoloških i ekonomskih koristi. Prema Tyrväinen (1999) postoji pet kategorija kojima su definirane sve koristi stabala u gradovima čime se opravdavaju potrebu za zelenim površinama i prisutnost urbanih stabala u gradovima.

Table 1. Koristi i utjecaj urbanih šuma i urbanih stabala (Tyrväinen 1999)

1) socijalne koristi	- mogućnosti rekreacije, poboljšanje kućnog i radnog okoliša, utjecaji na fizičko i mentalno zdravlje; - kulturne i povijesne vrijednosti zelenih površina
2) arhitektonske i estetske koristi	- okoliš doživljen kroz različite boje, vizure i oblike - rast stabala, izmjene godišnjih doba i doživljaji u prirodi; - definiranje otvorenih prostora, vizura i pogled na objekte u okolišu
3) klimatske i fizičke koristi	- rashlađivanje, ublažavanje vjetrova, utjecaj na temperaturu i vlažnost urbane klime - smanjenje zračnog zagađenja, zagađenja bukom, smanjenje bliještanja i odsjaja svjetla - prevencija bujica i erozije
4) ekološke koristi	- biološka raznolikost - flora i fauna u urbanom okolišu
5) gospodarske koristi	- tržišna vrijednost koristi (drvo, plodovi, gljive i dr.) - veća vrijednost zemljišta - turizam

1.4. Uvjeti za razvoj stabala u urbanom okolišu

Premda su stabla u gradovima ključan element zelene infrastrukture ona su često stavljena u drugi plan te se prednost daje razvoju sive infrastrukture. Posljedično, pod pritiskom urbanizacije smanjuju se zelene površine, što uključuje urbane šume i ostale pojavne oblike drvenaste vegetacije, čime dolazi do smanjenja kvalitete života u urbanim područjima (Krajter Ostojić i dr. 2013). Većina stabala u gradu, van urbanih šuma, element je drvoreda, ulica, parkova, livada, privatnih vrtova i sl. Osnovni cilj gospodarenja urbanim stablima temelji se na očuvanju vitalnosti, otpornosti na biljne bolesti i štetnike s ciljem osiguravanja dugovječnosti. Uvjeti za razvoj stabla u gradovima su oskudni i proizlaze iz degradiranog karaktera urbanih staništa u odnosu na prirodna staništa. Urbana stabla, pogotovo u na popločanim površinama gradova, žive u potpuno neprirodnom i ekološki nepovoljnom staništu – okružena asfaltom, betonom i metalom. U takvim izazovnim okolnostima, stabla mogu rasti fizički ograničeno i pod fiziološkim stresom (Jim i Zhang, 2013).

Nedostaci stanišnih uvjeta mogu se očitovati u različitim oblicima. Najčešći čimbenici koji utječu na vitalnost i rast stabala u gradovima su onečišćenje (tla, zraka, oborina) i fizički ograničen prostor podzemnog i nadzemnog dijela. Pri tome poseban naglasak treba staviti na podzemni dio radi brojnih ograničavajućih čimbenika koji se tamo nalaze. Prepreke za podzemni razvoj korijenskog sustava mogu biti temeljni uzrok niza fizioloških i zdravstvenih problema urbanih stabala (Patterson 1977). Urbane sredine također uključuju područja s lošom kvalitetom zraka, uključujući onečišćujuće čestice i toplinski aspekt, koji mogu stvoriti stres koji utječe na razvoj stabla. Ako koncentracija onečišćujućih tvari prelazi granicu koju stabla mogu tolerirati, posebno kod osjetljivih vrsta, takva stabla će slabije prirašćivati (Jim 2017).

1.4.1. Tlo i korijen u urbanom okolišu

Uvjeti u tlu za rast i razvoj korijena uvjetovani su brojnim faktorima, kako u prirodnijim staništima, tako i u urbanim područjima. Tlo u urbanim područjima u kojem se nalazi korijenski sustav degradiranog je karaktera (Pernar 2017). Kada govorimo o takvom tlu čimbenici koji ga dodatno degradiraju, a karakteristični su za urbani okoliš, su onečišćenje, zbijenost i/ili prekrivenost nepropusnim ili slabo propusnim materijalom (asfalt, beton i sl.) koji imaju negativan utjecaj na korijenski sustav radi otežane apsorpcije vode i otopljenih mineralnih tvari. Dostupnost vode i hranjivih tvari ključno je za preživljavanje stabala u gradovima (Martinez i dr. 2013).

Tlo prekriveno popločenjem ima prekinuti ciklus kruženja hranjivim što znači da se kod njega ne događa prirodno raspadanje listinca i infiltracija vode iz oborina u dublje slojeve. Posljedično je time smanjena vlage u tlu i evaporacija iz tla. Zbog nemogućnosti hlađenja tla evaporacijom, temperatura tla može biti povišena za vrućih sunčanih dana što može imati kao posljedicu smanjen rast stabala. (Jim 2017). Ispod popločenja tlo je zbijeno te ima manje kisika i više ugljičnog dioksida što nepovoljno djeluje na razvoj korijenskog sustava (Viswanathan i dr. 2011).

Tlo u gradovima koje nije pokriveno popločenjem također može biti nepropusno radi zbijenosti zbog gaženja i prometa. Takve štetne promjene mogu imati slične učinke kao nepropusno popločenje (Jim 2017). U gradovima temperatura tla može postizati vrijednosti i do 10 °C iznad

optimalne temperature tla za razvoj korijena čime negativno utječu na rast i vitalnost urbanih stabala (Graves i dr. 1991).

Ovisno o uvjetima tla u kojima se razvija i biološkim značajkama pojedinih vrsta proizlaze razlike u rasprostriranju korijenskog sustava kod urbanih stabla. Ako promatramo horizontalno rasprostriranje, kod soliternog stabla koje raste u tlu povoljnih karakteristika te nema prepreka, korijenje se općenito proteže na većim udaljenostima. To može biti čak dva do tri puta veći promjer nego što je promjera krošnje (Matheny i Clark 2010). Gledajući vertikalno rasprostriranje korijenja urbanih stabla u dubinu, obično se većina korijena nalazi unutar gornjih 90 centimetara tla, pri čemu se većina sitnog, fiziološki aktivnog, upijajućeg korijena nalazi u gornjih 30 centimetara tla (Matheny i Clark 2010).

1.4.1.1. Građevinski zahvati u zoni korijenskog sustava urbanih stabala

U gradovima postoji kontakt i konflikt između zelene i sive infrastrukture koji dovodi do problema za razvoj i uspijevanje urbanog zelenila. Za uspješno funkcioniranje gradova nužna je urbana infrastruktura kao što su zgrade, ceste, nogostupi, rubnjaci, podzemne instalacije (npr. električna, plinska, telekomunikacijska, kanalizacija i vodovod) i nadzemne instalacije (Coder 1996).

Većina komunalnih vodova zakopana je u tlu te traži povremene zamjene i popravke koji se realiziraju kroz iskope. Građevinski zahvati sve su češća pojava u gradovima, posebice u starijim gradskim jezgrama gdje su instalacije i infrastruktura zastarjeli. U prošlosti, u fazi prostornog planiranja gradskih blokova, zelene gradske površine formirale su se bez uzimanja u obzir kojim trasama prolazi podzemna komunalna infrastruktura. Čest je slučaj da su stabla sađena na lokacijama gdje je postojala podzemna infrastruktura pa tako danas, nekoliko desetljeća kasnije, prilikom popravaka i zamjene infrastrukture stabla vrlo često bivaju oštećena, dijelovi korijenskog sustava uklonjeni ili se radi oštećenja stabla moraju u potpunosti uklanjati. Trajnost komunalne infrastrukture uvelike varira pa tako asfaltirana cesta traje 10 do 20 godina, popločani nogostupi 20 do 25 godina, a vodovodne i kanalizacijske cijevi 50 do 100 godina (Gibson, 2017). Stoga su stabla periodički izložena građevinskim zahvatima tijekom postavljanja i popravka urbane komunalne infrastrukture (Jim 2003).

Građevinski zahvati dovode do višestrukog utjecaj na korijenski sustav urbanih stabala. Karakter radova može biti takav da u uključuju iskope, uklanjanje tla, nasipavanje tla ili drugih materijala, zbijanje tla radi prisutnosti teške mehanizacije i slične nepovoljne utjecaje. Takvi zahvati, iako nekada kratkotrajni, mogu dovesti do dugoročnih posljedica radi oštećenja i uklanjanja korijena, kao i promjene različitih svojstava tla. Stabla kojima je korijenski sustav zahvaćen građevinskim zahvatima su izložena stresu, zakržljala su u rastu, nestabilna su i mogu biti opasna za svoju okolinu (Benson 2019). Ako se iskopi odvijaju u blizini već oslabljenog stabla, ono neće moći obnoviti korijenski sustav i oporaviti se, što dugoročno dovodi do propadanja stabala (Fini i dr. 2013).

Građevinski radovi u zoni korijenskog sustava urbanih stabala utječu na brojne aspekte njihovog funkcioniranja. Oni se također mogu pratiti i kroz promjene određenih anatomske osobine drva, ali i anatomski građa drva ima direktan utjecaj na ekofiziologiju drveća (Feuillat i sur. 1997.). Općenito se može smatrati da sve ono što utječe na obrazac rasta stabla, može rezultirati s varijabilnosti drva. Te promjene u anatomskoj građi drva mogu biti kratkoročnog i dugoročnog karaktera (Larson 1969). U slučaju promjena uvjeta za razvoj stabla koji se

postupno razvijaju i utječu na oblik i izgled stabla govorimo o dugoročnim promjenama, dok su primjeri kratkoročnim promjena uglavnom izazvani s klimatskim ekstremima u pojedinoj godini (suša, velika količina oborina i sl.). Građevinski radovi i posljedična oštećenja korijenskog sustava se prvenstveno promatraju kao kratkoročni utjecaji koji mogu imati dugoročne posljedice na funkcioniranje stabala. Radi kompleksnosti utjecaja izazovno je izdvojiti utjecaj oštećenja korijenskog sustava od ostalih čimbenika (primijenjene uzgojne metode, klimatske utjecaje i dr.) koji djeluju na razvoj stabala i njihovo funkcioniranje. Građevinske radove u blizini urbanih stabala nije moguće izbjeći, pa se naglasak kod njih treba staviti na prevenciju oštećenja korijenskog sustava. Stabla u gradovima treba zaštititi od oštećenja kako bi se osiguralo da ta stabla nakon građevinskih radova ostanu vitalna, ne postanu opasna za prolaznike i nastave pružati široki raspon koristi za gradsko stanovništvo.

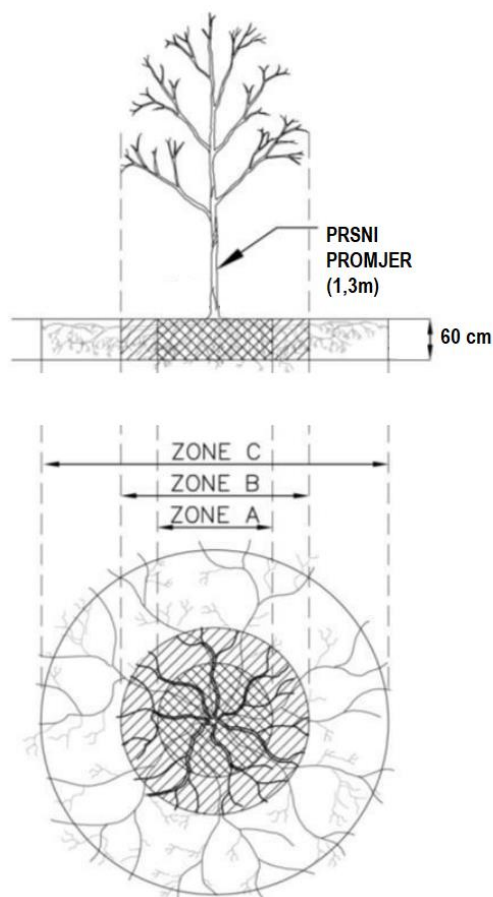
1.4.1.2. Zaštita stabla tijekom izvođenja građevinskih radova određivanjem zona zaštite korijenskog sustava

Određivanje zone zaštite stabla ključni je postupak koji će osigurati prevenciju od oštećenja i osigurati očuvanje postojećih stabala na gradilištima. Zona zaštite korijenskog sustava je područje koje okružuje svako stablo ili skupinu stabala te su unutar te zone sve aktivnosti propisane i regulirane.

Postoje su različiti načini određivanja veličine zona zaštite korijenskog sustava stabala, a svaki se temelji na proporcionalnosti s nekom parametrom kojim se definira veličina stabla (npr. širina krošnje, visina stabla, prsni promjer i slično). Osnova pretpostavka je da što su stabla starija i veća imaju širu projekciju korijenskog sustava te time radi uspješne zaštite zahtijevaju veću zaštitnu zonu. Za određivanje zaštitne zone potrebno je definirati nekoliko osnovnih zona korijenskog sustava.

Prema Carey (2020) postoje tri zone zaštite korijenskog sustava koje su važne za urbana stabla:

- zona A: Kritična zona korijena (eng. Critical Root Zone - CRZ)
- zona B: Zona krošnje (eng. Drip line - DL)
- zona C: Zona hranidbenog korijena (eng. Feeder Root Zone - FRZ)



Slika 1. Bokocrt i tlocrt zona zaštite korijenskog sustava (Carey 2020).

Zona A ili kritična zona korijena (eng. Critical Root Zone CRZ) je područje radijusa oko stabla koje se određuje tako da se prsni promjer stabla pomnoži s faktorom 12. Dubina na kojoj se pruža kritična zona korijena iznosi 60 centimetara.

Zona B ili zona krošnje (eng. Drip line) je zamišljena projekcijom rubova krošnje na tlu.

Zona C ili zona hranidbenog korijena (eng. Feeder Root Zone) je područje radijusa oko stabla koje je dvostruko veće od radijusa kritične zone korijena, a određuje se tako da se prsni promjer stabla pomnoži s faktorom 24. Kao i kod kritične zona korijena ona se proteže na dubine od 60 cm.

Tablica 2. Primjer određivanja zone A (Kritična zona korijena) i zone C (Zona hranidbenog korijena) za stabla različitih prsnih promjera

Prsni promjer	Radijus zone A (engl. CRZ)	Promjer zone A (engl. CRZ)	Radijus zone C (engl. RFZ)	Promjer zone C (engl. RFZ)
20 cm	2,4 m	4,8 m + širina debla	4,8 m	9,6 m + širina debla
60 cm	7,2 m	14,4 m + širina debla	14,4 m	28,8 m + širina debla
120 cm	14,4 m	28,8 m + širina debla	28,8 m	57,6 m + širina debla

Zaštitna zona stabla (eng. Tree Protection Zone TPZ) tijekom izvođenja građevinskih radova, definira se kao područje oko debla koje treba zaštititi radi prevencije oštećenja na stablu. Ovo područje minimalno treba biti jednako površini zoni A i B, ali od strane arborista ta zona može biti i većeg radijusa (Carey 2020).

1.4.2. Standardi za zaštitu stabala tijekom izvođenja građevinskih radova

Arborikulturni standardi u Australiji, Hong Kongu, Ujedinjenom Kraljevstvu, Sjedinjenim Američkim Državama i drugim lokacijama daju smjernice za smanjenje učinaka građevinskih radova na stabla kako bi se promicao opstanak i zdravlje stabala (AISWCD, 2017, British Standards Institute, 2005, Development Bureau, 2015, Matheny i Clark, 2010, Standards Australia, 2009, ANSI A300 Tree Care Standards, TCIA, 2012).

Američki nacionalni institut za standarde (American National Standards Institute, ANSI) te standard A300 prihvaća prakse upravljanja stablima Međunarodnog društva za arborikulturu (International Society of Arboriculture, ISA). Iste prakse prihvaćene su u građevinarstvu za upravljanje postojećim stablima u prisutnost građevinskih radova (Fite i Smiley 2016, Smiley i Fite, 2016, Tree Care Industry Association, 2012).

U ovome poglavlju bit će prikazane prakse u Češkoj, Kanadi i Velikoj Britaniji koje su povezane s interesom ovoga diplomskoga rada.

1.4.2.1. Arbokulturni standard (*Arborist standards protection of woody plants during development activities*), Češka

Standardnom je definirano:

- zaštitna zona korijena određuje se kao sastavni dio projektne dokumentacije
- ucrtane zaštitne zone ne smiju biti manje od zaštitnih zona za stabla koja su definirana zakonskim aktima i uredbama
- intervencija u neposrednoj blizini stabla odnosi se na bilo koju aktivnost iskopavanja (bez obzira dubine iskopa), zatrpavanja zemljom, skladištenje materijala i teške mehanizacije, kao i odvijanje prometa
- zona zaštite korijena kružno je područje polumjera jednakog umnošku prsnog promjera i koeficijenta koji se određuje prema sljedećoj klasifikaciji: A=10, B=7, C=5.

Klasa A odnosi se na zaštićena stabla, stabla od posebnog značaja, veteranska stabla i sl., klasa B odnosi se na stabla narušenog zdravstvenog stanja, vitaliteta i/ili stabilnosti, a klasa C odnosi se na stabla značajno narušenog zdravstvenog stanja, vitaliteta i/ili stabilnosti, stabla u fazi aklimatizacije te stabla s mogućnošću presađnje.

Preporučene preventivne mjere:

- u fazama pripreme građevinskih projekata preporuča se da se u zoni zaštite korijena ne planiraju nikakve aktivnosti ili objekti
- sve mjere zaštite moraju biti definirane u projektnoj dokumentaciji
- zaštitne mjere odnose se uglavnom na prevenciju rizika

- pri projektiranju objekata ili infrastrukture u zoni zaštite korijena preporučljivo je koristiti se tehnologijama koje minimaliziraju negativne utjecaje
- bilo kakve aktivnosti, osim tehnika bez iskopa, nisu dopuštene unutar minimalne zone zaštite korijena
- moraju se poštivati zaštitne mjere
- bilo koji objekti ne smiju ograničavati radijalan rast debla i korijena.

1.4.2.2. Pravilnik zaštite stabala pri građevinskim radovima u blizini stabala (*Tree Protection Policy and Specifications for Construction Near Trees*), Kanada

Mjere zaštite stabala baziraju se na prsnom promjeru stabla. Prsni promjeri podjeljeni su u klase te je za svaku klasu prsnog promjera definiran minimalan promjer zone zaštite (Tablica 3.)

Tablica 3. Klase prsnih promjera i promjera zone zaštite

Prsni promjer	Promjer zone zaštite
> 10 cm	1,2 m
10 do 29 cm	1,8m
30 do 40 cm	2,4 m
41 do 50 cm	3,0 m
51 do 60 cm	3,6 m
61 do 70 cm	4,2 m
71 do 80 cm	4,8 m
81 do 90 cm	5,4 m
91 do 100 cm	6,0 m
< 100 cm	Za 1 cm prsnog promjera 6 cm promjera zone

1.4.2.3. Britanski standardi (*British standard, BS 5837:2012*), Velika Britanija

Standardnom je definirano:

- zona zaštite korijena (eng. root protection area (RPA) alat je koji označava minimalnu površinu oko stabla za koju se smatra da sadrži dovoljno korijena i volumena tla za zakorijenjivanje, osigurava održivosti stabla i unutar koje je zaštita korijena i strukture tla prioritet
- za stabla RPA se izračunava kao površina kruga s polumjerom 12 puta većim od prsnog promjera debla
- izračunati RPA za svako stablo treba ograničiti na 707 m².

1.4.2.4. Odluka o komunalnom redu u Zagrebu

Na razini Republike Hrvatske ne postoji standard ili neki drugi dokument kojim se reguliraju građevinski zahvati i radovi u neposrednoj blizini stabla. Na razini Grada Zagreba Odlukom o komunalnom redu, članak 94. definirano je sljedeće:

„Prilikom gradnje građevina izvođač je dužan, u pravilu, sačuvati postojeća stabla na zemljištu određenom za zelenu površinu i zaštititi ih tako da se deblo do početka krošnje obloži oplatama koje od ruba debla moraju biti udaljene najmanje 50 centimetara te zaštititi korijenov sustav

opreznim radom oko korijena i primjenom fitozaštitnih sredstava, a korijen ne smije biti izložen zraku. Postojeću vegetaciju, koja se zbog gradnje morala ukloniti, investitor je dužan nadomjestiti zamjenskim sadnicama primjerene vrste i veličine, sukladno uvjetima gradskoga upravnog tijela nadležnog za zelenilo.“

Nadalje, člankom 95. zabranjeno je orezivanje korijena debljeg od tri centimetra kao i postavljanje podzemnih instalacija na udaljenosti manjoj od dva metra od debla pojedinog stabla.

2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

U kontekstu urbane sredine, u kojoj stabla dijele svoj prostor s ljudima i s drugom gradskom infrastrukturom gdje se često prednost daje popravljaju i zamjeni podzemne infrastrukture, očuvanje urbanih stabala predstavlja veliki izazov, pogotovo ako se zna da su uvjeti za njihov razvoj nepovoljniji nego van urbanih sredina. Razumijevanje kako gubitak korijena nakon građevinskih radova utječe na njihovo funkcioniranje stoga je od velike važnosti. Aspekt njihovog funkcioniranja koji je obrađen u ovom radu se odnosi na stabilnost i formiranje sekundarnog ksilema kao važne osobine koje povezuju mehanički segment i ekofiziološki segment funkcioniranja ubranih stabala.

Cilj ovog diplomskog rada je utvrditi na koji način će urbana stabala reagirati na oštećenje i uklanjanje korijenskog sustava (kontroliranim iskapanjem rova uz stablo) te kako će to utjecati na stabilnost i proizvodnju sekundarnog ksilema nakon takvih zahvata.

Iz ovog osnovnog cilja proizlaze specifični ciljevi:

- Ispitati utjecaj oštećenja i uklanjanja korijenskog sustava na stabilnost stabala hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.).
- Ispitati utjecaj oštećenja i uklanjanja korijenskog sustava na formiranje sekundarnog ksilema.
- Utvrditi postoje li razlike u stabilnosti s obzirom na različite udaljenosti iskopa od stabala
- Utvrditi postoje li razlike u formiranju sekundarnog ksilema s obzirom na različite udaljenosti iskopa od stabala

3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Područje istraživanja

Naglasak u ovom diplomskom radu stavljen je na utvrđivanje promjena u stabilnosti i formiranju sekundarnog ksilema nakon oštećivanja korijenskog sustava oponašajući građevinske zahvate iskopa linearnih rovova s jedne strane stabla. S obzirom da je cilj bio utvrditi promjene na urbanim stablima koja su izložena uvjetima koji su specifični za gradsku sredinu, bilo je potrebno da su stabla na kojima se provodilo istraživanje, izvodila sva mjerenja i zahvati urbanog karaktera. Nadalje, odabrana urbana stabla morala su se razvijati u što sličnijim urbanim stanišnim i klimatskim uvjetima. Na taj način utjecaj vanjskih čimbenika urbanog okoliša sveden je na minimum.

Za područje istraživanja odabrana je park-šuma Dotrščina, jedna od najvećih park-šuma u Gradu Zagrebu koja se nalazi sjeverno od maksimirske šume.

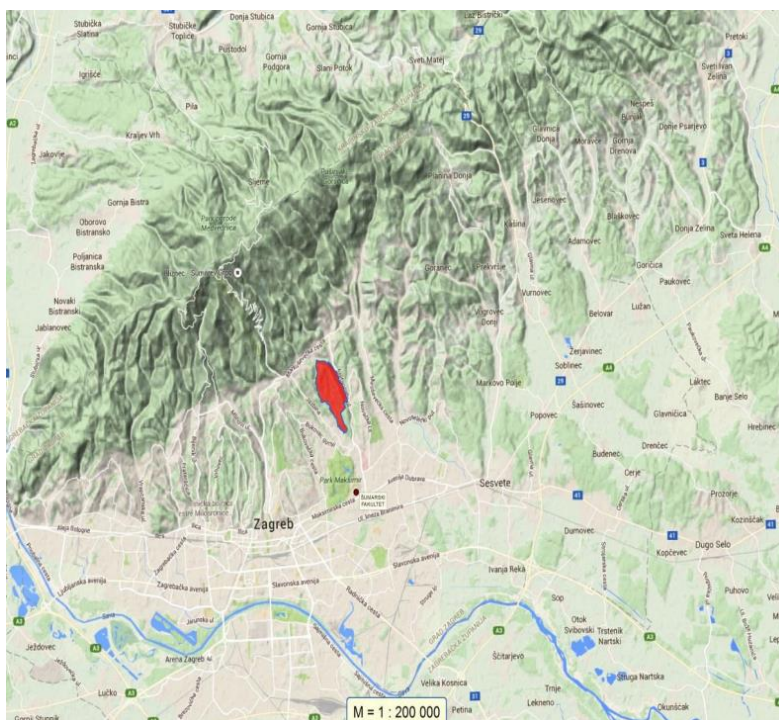
Pod park-šumama razumijevaju se sve šumske sastojine koje su uklopljene u ubrano tkivo grada i čija je primarna zadaća trajno i optimalno pružati građanima općekorisne dobrobiti (Matić i Anić, 2010).

3.2. Zemljopisni položaj

Zagrebačke su šume kao manje ili veće cjeline smještene na južnim, jugozapadnim i jugoistočnim padinama Medvednice. Medvednica utječe na opći izgled krajobraza, na reljefne prilike te sa savskom dolinom utječe na klimatske prilike zagrebačkih šuma (Seletković i sur., 2010).

Istraživanje je provedeno u gospodarska jedinice „Dotrščina“ koja se prema programu gospodarenja nalazi između $45^{\circ} 50' 40'' < \varphi < 45^{\circ} 52' 5''$ sjeverne geografske širine i $16^{\circ} 0' 26'' < \lambda < 16^{\circ} 1' 31''$ istočne geografske dužine te se prostire na ukupno 180,87 ha površine. S južne i jugoistočne strane graniči sa Spomen-kompleksom Dotrščina, istočna granica je potok Štefanovec uz cestu za Markuševec, na sjeveru je selo Štefanovec, a uz zapadnu granicu se nalaze privatni šumski posjedi.

Šuma Dotrščina prostire se na padinama jugoistočnog obronka Medvednice, te oko 6,5 km sjeveroistočno od centra grada Zagreba. Smještena je sjeveroistočno od maksimirske šume, između potoka Štefanovec i Bliznec, a na sjeveru se proteže do naselja Bačun i Štefanovec. Nadmorska visina Dotrščine kreće se u rasponu između 175 m i 304 m (Budisavljević 2017).



Slika 2. Karta položaja gospodarske jedinice „Dotrščina“ – crveno (Program gospodarenja za gospodarsku jedinicu „Dotrščina“, 2015 – 2024).

Dotrščina predstavlja najveći zagrebački gradski park te s Maksimirom čini najveću parkovno-rekreativnu zonu Zagreba (Anić i Oršanić 2010).

3.3. Reljef, geološka podloga i tlo

3.3.1. Reljef

Područje gospodarske jedinice „Dotrščina“ smješteno je na brežuljkastim terenima koji čine prijelaz gorskog masiva Medvednice prema dolini Save. Teren je brežuljkast i ispresijecan jarcima, a nadmorske visine kreću se između 160 i 304 m.n.v. Dva glavna potoka, Štefanovec i Čret, obiluju vodom tijekom cijele godine. Ekspozicija je primarno južna. Nagib se kreće u intervalu od 5° do 18°.

3.3.2. Geološka podloga i tlo

Na jugoistočnim obroncima Medvednice (prema Anić i Oršanić, 2010) prevladavaju silikatne i silikatno-karbonatne geološke podloge na kojima pridolaze različiti tipovi tala. Na području park-šume Dotrščina prisutni su silikatno-karbonatni i silikatni matični supstrati na kojima u najvećem udjelu pridolazi pseudoglej obrončani te uz njega i druga kisela tla kao koluvijalno tlo i aluvijalni luvisol.

Na području gospodarske jedinice „Dotrščina“ prevladava pseudoglej (Paulić 2015) sa sklopom profila: A-Ig-IIg-C i A-Eg-Bg-C. Pseudoglej karakterizira izmjena mokrog i suhog razdoblja, a pridolazi na ravničarskim terenima s blagim nagibom. Izmjenom mokre i suhe faze dolazi do redukcijskih i oksidacijskih procesa te se formira g horizont koji karakterizira mramoriranost zbog formiranja Fe i Mn konkrecija. A horizont pod šumskom vegetacijom dubine je od 6 do

10 centimetara, a uz njega je i g horizont površinski te ih karakterizira praškasta ilovasta tekstura dobre propusnosti za vodu. B (ili II g) horizont gotovo je nepropustan za vodu. Reakcija tla kreće se od 5 do 6 pH.

3.4. Klimatska obilježja

Za prikaz klimatskih obilježja na području gospodarske jedinice „Dotrščina“ korišteni su podaci meteorološke postaje Maksimir (123 metara nadmorske visine), geografske širine 45° 49' i geografske dužine 16° 02' na području Grada Zagreba za razdoblje 2023. godine. S obzirom da se gospodarska jedinica „Dotrščina“ nalazi između 160 i 304 metara nadmorske visine navedeni podaci meteorološke postaje daju realnu sliku područja istraživanja.

3.4.1. Klima

Prema Köppenovoj klasifikaciji područje Grada Zagreba pripada zoni umjereno tople kišne-kontinentalne klime s formulom Cfbwx. U tablici 4. formula klime detaljnije je objašnjena.

Tablica 4. Opis formule umjereno tople kišne-kontinentalne klime

umjereno topla kišna-kontinentalna klima Cfbwx	
C	Srednja mjesečna temperatura najhladnijeg mjeseca je viša od -3°C
f	Oborine su ravnomjerno raspoređene tokom cijele godine
b	Srednja mjesečna temperatura najtoplijeg mjeseca je niža od 22°C
w	Najmanja količina oborina padne u hladnijem periodu godine
x	Maksimalne količine oborina padnu u proljeće i kasno ljeto

3.4.2. Temperatura zraka i oborine

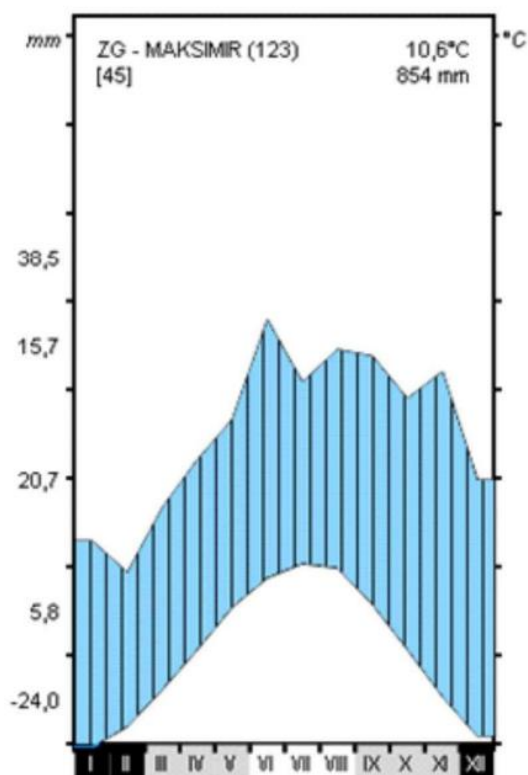
U tablici 6. prikazani su mjerni podaci meteorološke postaje Maksimir za razdoblje motrenja od 1960. do 2004. godine. Na temelju tih podataka prikazan je i klima dijagram (slika 3.) za isti period. U tablici 7. prikazane su srednje temperature zraka i količine padalina po godišnjim dobima meteorološke postaje Maksimir za razdoblje motrenja od 1960. do 2004.

Tablica 6. Mjerni podaci meteorološke postaje Maksimir za razdoblje motrenja od 1960. do 2004. godine.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godina
Temperatura zraka													
Srednje mjesečne temperature °C	-0,2	2,1	6,3	10,8	15,6	18,9	20,5	20,0	15,9	10,8	5,5	1,0	10,6
Oborine													
Srednja mjesečna i god. količina padalina (mm)	46,0	38,9	53,6	64,4	73,5	96,0	81,9	89,3	87,8	78,2	84,3	59,8	853,7

Tablica 7. Srednje temperature zraka i količine padalina po godišnjim dobima meteorološke postaje Maksimir za razdoblje motrenja od 1960. do 2004.

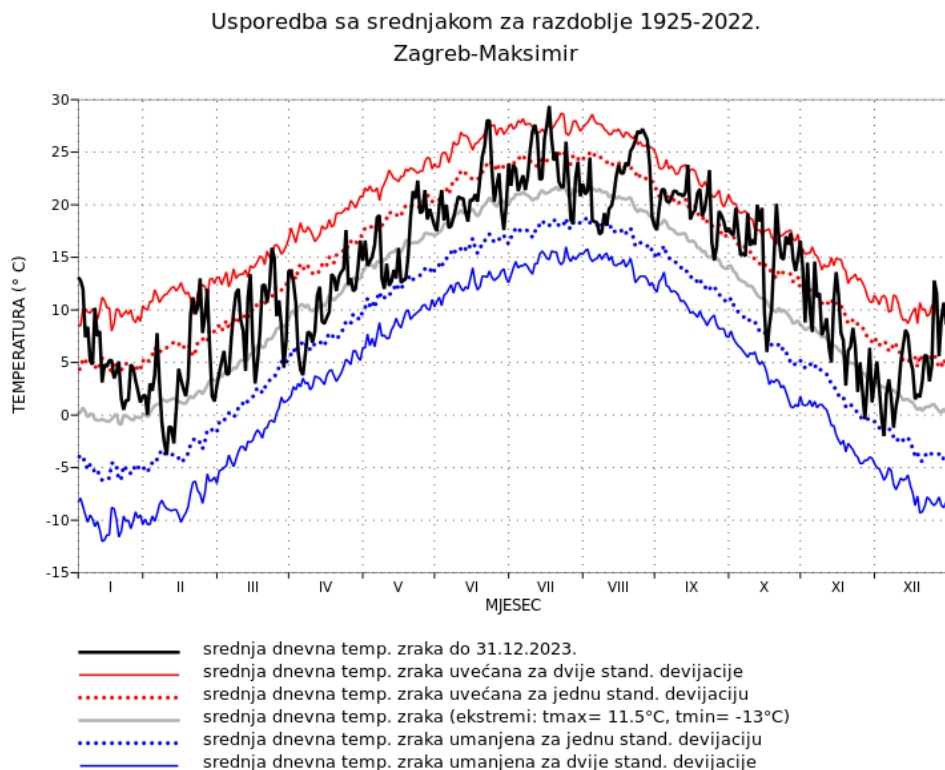
Sezona	Zima (XII-II)	Proljeće (III-V)	Ljeto (VI-VIII)	Jesen (IX-XI)	Godina
Srednje sezonske temperature zraka (°C)	1,0	10,9	19,8	10,7	10,6
Srednje sezonske količine padalina (mm)	144,7	191,5	267,2	250,3	853,7



Slika 3. Klima dijagrami prema Walteru za meteorološke postaje na području Grada Zagreba za razdoblje 1960. – 2004. (Seletković i dr. 2010)

Iz klima dijagrama možemo iščitati da je višegodišnji prosjek temperature zraka 10,6°C, dok je višegodišnji prosjek količine padalina 854 milimetara (mm). Siječanj, veljača i prosinac mjeseci su s apsolutnim minimumom temperature zraka ispod 0°C. Apsolutni

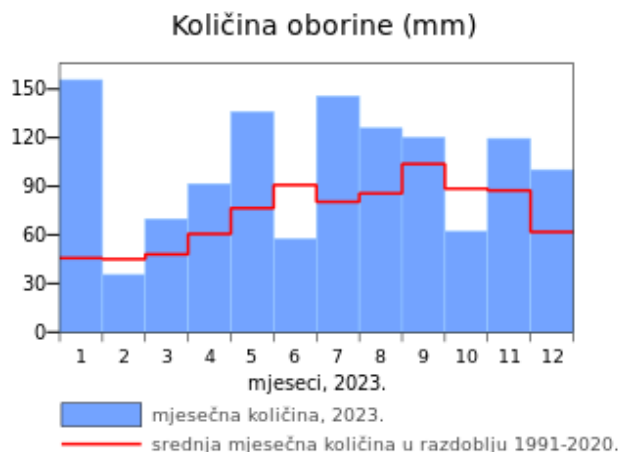
maksimum temperature zraka iznosi 38,5°C, a minimum -24,0°C. Srednji maksimum temperature zraka iznosi 15,7°C, a minimum 5,8°C.



Slika 4. Usporedba sa srednjakom za razdoblje 1925-2022. Zagreb-Maksimir (DHMZ)

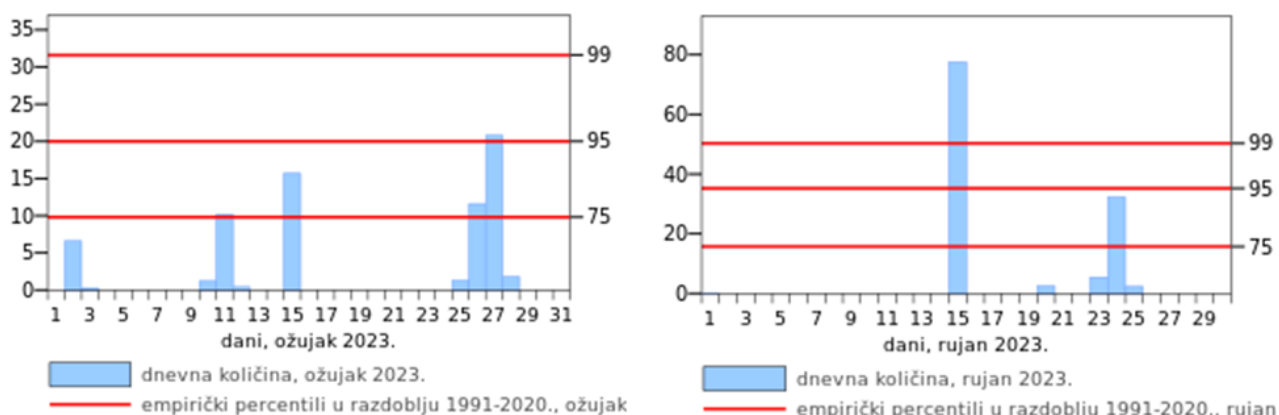
Na grafičkom prikazu (Slika 4.) prikazane su srednje dnevne temperature za razdoblje od siječnja do prosinca 2023. godine te su iste uspoređene sa srednjakom za razdoblje od 1925. do 2022. godine na postaji Maksimir. Iz grafičkog prikaza vidljivo je da su najhladniji mjeseci bili veljača i prosinac kada su prosječne dnevne temperature prelazile vrijednosti ispod 0°C. Najtopliji mjeseci bili su lipanj, srpanj i kolovoz kada su srednje dnevne temperature zraka prelazile 25°C. U srpnju je temperatura zraka dosegala do gotovo 30°C.

Na grafičkom prikazu (Slika 6.) prikazane su ukupne mjesečne količine oborina za 2023. godinu. Najviše oborina palo je u siječnju (150 mm), dok je lipanj bio mjesec s najmanje oborina (60 mm).



Slika 5. Količina oborina za 2023. godinu, mjerna postaja Maksimir (DHMZ)

Potezni test izvođen je u ožujku (31. 3. 2023.) i ponovljen u rujnu (22. 9. 2023.), iz tog razloga prikazane su količine padalina (mm) u ožujku i rujnu jer oborine mogu imati utjecaj na izvođenje i rezultate poteznog testa (Slika 6.). Na grafičkim prikazima vidljiva je i empirička procjena količine padalina u milimetrima za razdoblje od 1991. do 2020. godine također po mjesecima.

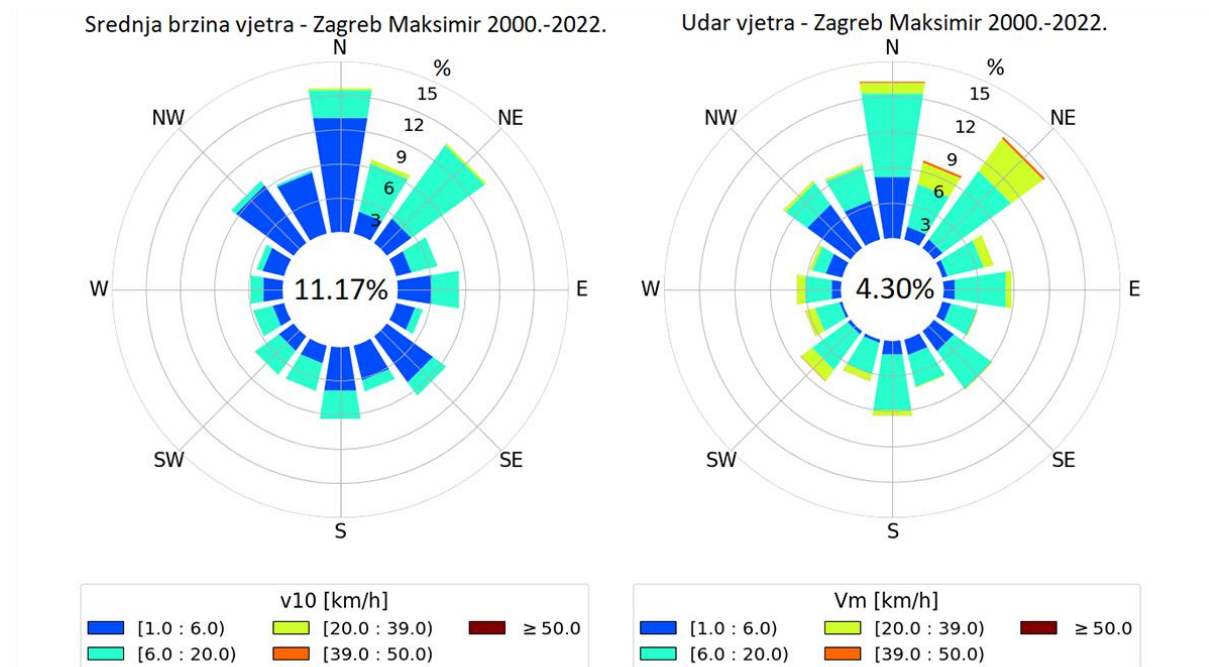


Slika 6. Količina oborina za mjesec ožujak (lijevo) i rujan (desno) u 2023. godini, mjerna postaja Maksimir (DHMZ)

3.4.3. Vjetar

Vjetrovne prilike nekog područja određene su geografskim položajem, orografijom, razdiobom baričkih sustava opće cirkulacije, dobom dana i godine i dr. Šire područje Grada Zagreba nalazi se cijele godine u cirkulacijskom pojasu umjerenih širina. Vjetrovne prilike u Zagrebu karakterizira u prosjeku relativno slab vjetar, osobito u jesen i ljeti kad dominiraju bezgradijentna polja tlaka zraka, dok su najveće srednje mjesečne brzine zabilježene u kasnu zimu i proljeće. Hladno doba godine od studenog do ožujka karakteriziraju česte ciklonalne aktivnosti i prolasci hladnih fronti praćeni jakim vjetrom. Na strujanje u području Grada Zagreba utječe i Medvednica. Osim što sama planinska prepreka modificira smjer i brzinu

strujanja koje prevladava nad širim zagrebačkim područjem, termički gradijenti u sinoptički mirnim i statički stabilnim situacijama podržavaju stvaranje lokalnog vjetra obronka. Najučestaliji smjerovi vjetra su N i NE, no s vrlo različitim srednjim brzinama vjetra. Osim sjevernog smjera jačinom se ističe i jugozapadni smjer vjetra, koji je dominantan smjer vjetra na prednjoj strani ciklonalnih poremećaja na kontinentalnim postajama (DHMZ).



Slika 7. Ruža vjetra za srednje desetominutne brzine (lijevo) te ruža udara vjetra (maksimalne sekundne brzine vjetra u 10-minutnom intervalu; desno) na GMP Zagreb Maksimir u razdoblju 2000. – 2022. (DHMZ)

Dana 19. srpnja 2023. godine područje istraživanja zahvatilo je grmljavinsko nevrijeme s orkanskim vjetrom te je maksimalni udar vjetra izmjeren toga dana iznosio 25.5 m/s u smjeru WNW.

3.5. Lokacija istraživanja

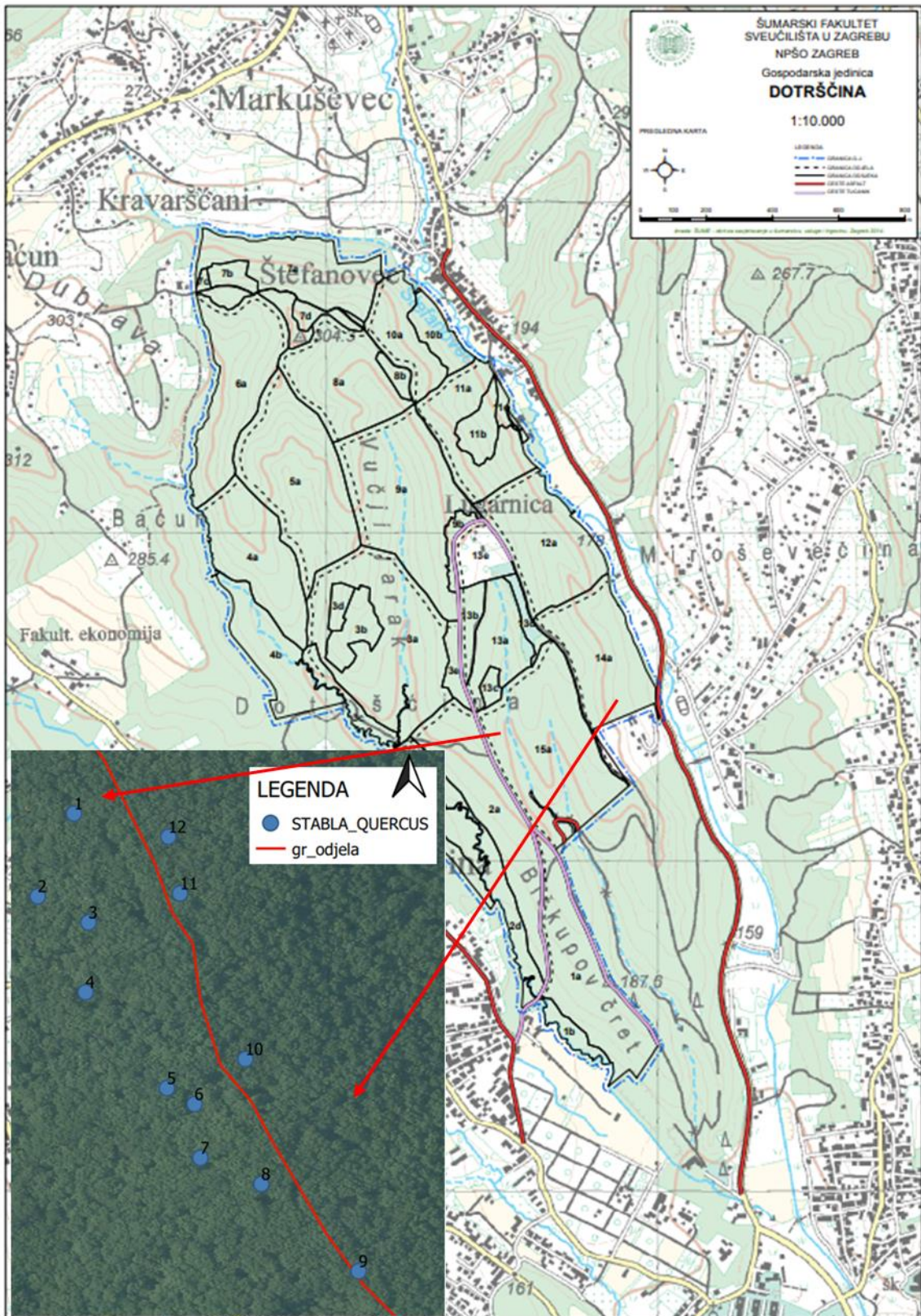
Istraživanje je provedeno u odjelima 15a i 14a. U tablicama 8. i 9. prikazani su osnovni podatci o odjelima, sastojinama i staništu na temelju plana gospodarenja za razdoblje od 2015. do 2024. godine.

Odjel 14a karakterizira srednjedobna mješovita sastojina hrasta kitnjaka s običnom bukvom i grabom dobre kvalitete starosti 78 godina. Stabla hrasta kitnjaka su dobrog uzrasta i dobre raspoređenosti po površini koja iznosi 9,11 ha. U gornjoj etaži dominira hrast kitnjak uz pojedinačna stabla bukve, a u donjoj etaži nalaze se bukva i grab. Područje odjela karakterizira sjeveroistočna ekspozicija nadmorske visine od 170 do 230 metara nadmorske visine nagiba od 10 do 18°. Tip tla je pseudoglej. Odjel 15a karakterizira srednjedobna mješovita sastojina hrasta kitnjaka s običnom bukvom i grabom dobre kvalitete starosti 78 godina. U istočnom dijelu odsjeka nalazi se skupina stabala crvenog hrasta na površini 0,21 ha. Stabla hrasta kitnjaka su

dobrog uzrasta i dobre raspoređenosti po površini koja iznosi 14,58 ha. U gornjoj etaži dominira hrast kitnjak uz pojedinačna stabla bukve, a u donjoj etaži nalaze se bukva i grab. Područje odjela karakterizira jugoistočno-jugozapadna ekspozicija nadmorske visine od 180 do 220 metara nadmorske visine nagiba od 5 do 14°. Tip tla je pseudoglej.

Tablica 5. Osnovni podatci o odjelima, sastojini i staništu

14a		15a	
Šumski predjel	Štefanovac	Šumski predjel	Mirni dol
Odjel/odsjek	14a	Odjel/odsjek	15a
Starost	78 godina	Starost	78 godina
Uređajni razred	Sjemenjača hrasta kitnjaka	Uređajni razred	Sjemenjača hrasta kitnjaka
Površina	9,11 hektara (ha)	Površina	14,58 hektara (ha)
Ophodnja	120 godina	Ophodnja	120 godina
Bonitet	II	Bonitet	II
Obrast	1,27	Obrast	1,21
Nagib	10 do 18°	Nagib	5 do 14°
Ekspozicija	Sjeveroistok	Ekspozicija	Jugoistok – jugozapad
Nadmorska visina	170 do 230 metara	Nadmorska visina	180 do 220 metara
Tip tla	Pseudoglej	Tip tla	Pseudoglej
Fitocenoza	Ilirske šume hrasta kitnjaka i običnog graba s biskupsko kopicom subasocijacija s trepavičastim šašem	Fitocenoza	Ilirske šume hrasta kitnjaka i običnog graba s biskupsko kopicom subasocijacija s trepavičastim šašem



Slika 8. Karta odjela gospodarske jedinice „Dotrščina“ (Program gospodarenja 2015.-2024.) s prikazom položaja odabranih stabala unutar odjela 15a i 14a

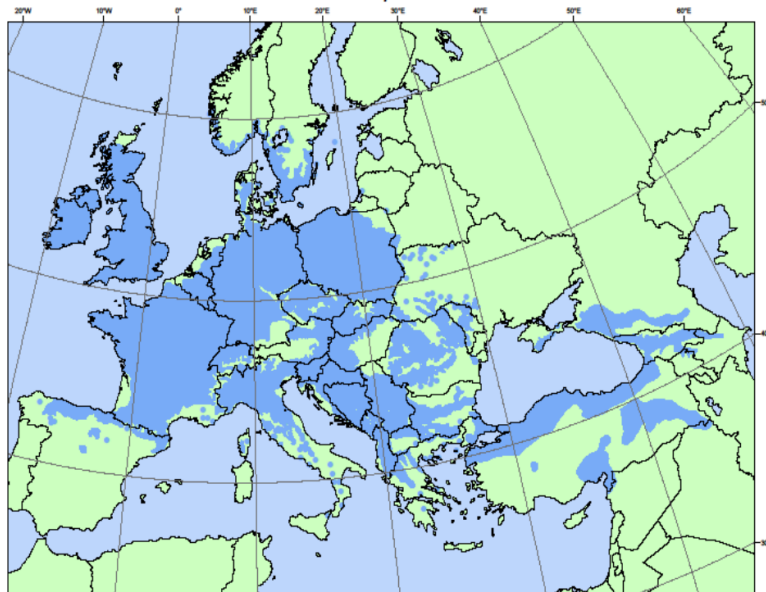
3.6. Odabir stabala

3.6.1. Vrsta stabala

Za potrebe diplomskog rada odabrana je vrsta hrasta kitnjaka. Hrast kitnjak važna je vrsta s ekološkog, ali i gospodarskog gledišta. Ova vrsta česta je u gradskim park-šumama i drugim gradskim zelenim površinama. Na razini roda *Quercus* brojne su druge vrste i kultivari koji se koriste kao element za gradske zelene površine (dvoredna stabla, soliteri i sl.)

Hrast kitnjak (*Quercus petraea* /Mattuschka/ Liebl.) (= *Q. sessiliflora* Salisb.; *Q. sessilis* Ehrh.) Eng. Sessile oak, Durmast oak; Njem. Trauben-Eiche, Winter-Eiche; Fra. Chêne rouvre; Tal. Quercia rovere.

Areal hrasta kitnjaka prostire se na području Europe, Kavkaza i Male Azije te je autohtona vrsta na području Hrvatske.



Slika 9. Areal hrasta kitnjaka (EUFORGEN, 2009)

Najbolje uspijeva na svježim, kiselim, podzolastim te slabo razvijenim skeletnim tlima, nizinskih, a naročito brežuljkastih i brdskih terena. Raste kao stablo do 35 (-40) m visine i promjera do 1 (-3) m. Kora je na starijim primjercima debela do 2 cm, plitko ispucala i bijelosiva. Korijen je izrazito razvijen s dobro razvijenom žilom srčanicom (Franjić i Škvorc, 2010). Drvo hrasta kitnjaka je srednje elastično (modul elastičnosti 130 000 daN/cm²), visoke čvrstoće na smicanje i srednje čvrstoće na savijanje (srednja vrijednost čvrstoće na savijanje 1100 daN/cm²) (Sabadi, 1996).

3.6.2. Anatomska građa drva hrasta kitnjaka

U identifikaciji drva smatra se da se drvo hrasta kitnjaka prema svojoj anatomske građi ne razlikuje značajno od drva hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). Iz tog razloga, navedene dvije vrste sa stajališta anatomske građe drva svrstavaju se u skupinu tzv. „bijelih hrastova“. Međutim, informacije o razlikama u anatomske karakteristikama između *Q. petraea* i *Q. robur* ipak postoje, ali su ograničene (Feuillat i dr. 1997). Također, trenutna nemogućnost identificiranja uzoraka na razini vrste između ove dvije vrste predstavlja ograničenje u istraživanjima koja uključuju anatomske karakteristike drva. Wagenführ (2006) detaljno

opisuje mikroskopsku i makroskopsku građu drva hrasta kitnjaka. Prema tom autoru, prstenasto je porozno i jedričavo drvo. Traheje ranog drva dobro su vidljive golim okom. Traheje kasnog drva u radijalnom su rasporedu, brojne, vidljive isključivo povećalom. U srži su traheje ispunjene tilama. Neki drvni traci odlično vidljivi golim okom, široki, svijetli, ostali znatno už i vidljivi samo povećalom. Traheje ranog drva su bačvaste, promjera 150...270...350 μm , dok su traheje kasnog drva cjevaste, promjera 30...70...140 μm . Njihov volumni udio u građi ranog drva iznosi oko 40%, a u zoni kasnog drva oko 8%. Drvni traci su komocelularni. Višeredni krupni drvni traci široki su 0,5 do 1 mm, a jednoređni drvni traci oko 15 μm . Volumni udio drvnih trakova u građi drva iznosi od 15 do 30%. Drvna vlakanca su libriformska, duljine 0,30...0,60...0,90 mm, promjera 10 do 28 μm . Njihov volumni udio u građi drva iznosi od 40 do 65%.

3.6.3. Opis odabranih stabala

Kriteriji za odabir stabla za cilj su imali odabrati ona stabla koja su po svojim osobinama (dob, prsni promjer, vitalnost, izgled debla, izgled krošnje) slična. Također, na odabir stabla utjecale su i karakteristike mikrostaništa (nagib, blizina drugih stabala, pristupačnost stablima zbog pristupa mehanizacije i izvođenja poteznog testa). Odabrano je dvanaest stabala hrasta kitnjaka, njih osam u odjelu 15a i četiri u odjelu 14a. Odabrana su stabla prosječne visine 22,25 metara i prosječnog prsnog promjera hrasta kitnjaka podjednake dimenzije, podjednako razvijene krošnje, ravnog debla. Procijenjena je vitalnost u vidu pregleda od znakova truleži, patogena i drugih štetnika ili mehaničkih oštećenja. Svih dvanaest stabala rastu u relativno jednakim okolišnim uvjetima.

Za svako stablo određeni su sljedeći parametri: visina stabla, opseg stabla (1,30), opseg debla na visini 1 metra i prsni promjer.

Tablica 6. Deskriptivni podatci za odabrana stabla

grupa stabla	tretman	prsni promjer (1,3m)	udaljenost do najbližeg stabla	visina stabla	opseg debla				visina baze krošnje
					cm	cm	cm	cm	
GRUPA 2 (stabla 1, 3, 8) GRUPA 1 (stabla 2, 6, 11) GRUPA 0 (stabla 4, 5, 7) GRUPA K (9, 10, 12)	udaljenost iskopa od debla	cm	m	m	cm	cm	cm	cm	m
	m	d	u	h	d1 II	d1.3 II	d1 L	d1.3 L	hk
GRUPA 2	1	29,8	4,1	22,1	30,0	29,0	29,3	29,7	11,6
GRUPA 1	1	30,3	4,2	21,0	30,0	29,3	29,7	28,7	11,9
GRUPA 0	0	28,9	3,9	24,1	29,2	28,2	29,5	28,8	15,3
GRUPA K (kontrola)	/	31,3	4,3	21,8	32,0	32,0	30,3	30,0	13,0

Udaljenost do najbližeg stabla važan je element koji je odlučivao o odabiru stabala. Kako bi se eliminirao utjecaj okolnih stabala i njihovog korijenskog sustava na tretirana stabla, odabrana su ona stabla koja su bila udaljena od drugih stabala za barem tri metra ili više. Prosjek udaljenosti do najbližeg stabla iznosi 4,12 metara.

3.7. Tretmani oštećivanja korijenskog sustava

Tretmani oštećivanja korijenskog sustava provodili su se na način da simuliraju ona oštećenja koja najčešće nastaju u gradskim sredinama za potrebe zamjene ili popravka određene podzemne infrastrukture. Bagerom su iskopani linearni iskopi dubine 60 centimetara te širine 40 centimetara. Iskopom je uklonjeno svo tlo i sav korijenski sustav u zoni iskopa. Dužina rova određivana je prema zonama korijena. Na temelju prsnih promjera određene su kritične zone korijena i hranidbene zone korijena kao i pripadajući radijusi. Dužina svakog rova bila je duga toliko da zahvaća cijelu kritičnu zonu korijena.

Opasnost od smanjene stabilnosti stabla najveća je ako se korijenje iskopava na strani stabla koja je najizloženija udarima vjetra na nekom području (O'Sullivan i Ritchie 1993). Prema tome, za odabir strane iskopa uzet je u obzir smjer dominantnog vjetra te je oštećivan onaj dio korijena najizloženiji udarima vjetra.

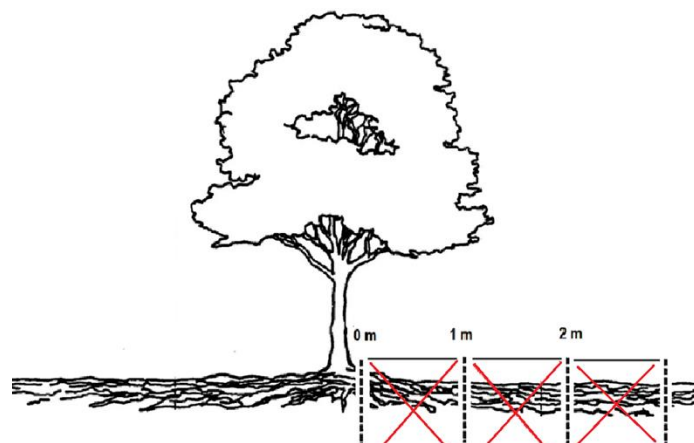
Definirana su tri tretmana:

- I. Iskop na 0 metara od debla
- II. Iskop na 1 metar od debla
- III. Iskop na 2 metra od debla

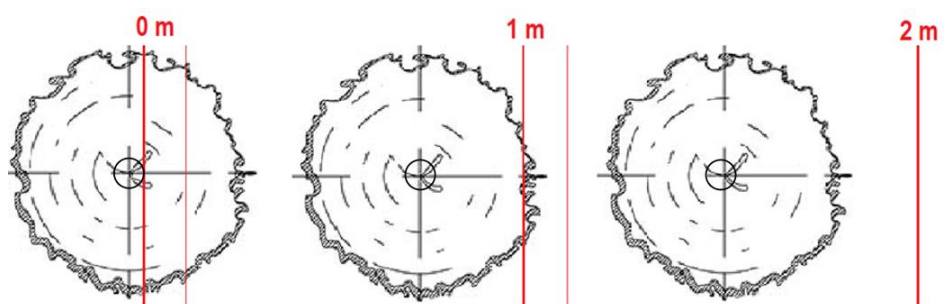


Slika 10. Iskopi na 2, 1 i 0 metara od debla

Dvanaest odabranih stabala podijeljena su u četiri grupe: grupa 0 (stabla 4, 5 i 7), grupa 1 (stabla 2, 6 i 11), grupa 2 (stabla 1, 3 i 8), grupa kontrola (K) (stabla 9, 10 i 12). Grupa 0 tretirana je iskopima na nula metara od debla, grupa 1 tretirana je iskopom na udaljenosti jedan metar od debla, grupa 2 tretirana je iskopom na dva metra udaljenosti do debla i grupa kontrola nije tretirana.



Slika 11. Prikaz tretmana – bokocrt (na 0 m, 1 m i 2 m udaljenosti do debla)



Slika 12. Prikaz tretmana – tlocrt (na 0 m, 1 m i 2 m udaljenosti od debla)

U tablici 11. su prikazane prosječne vrijednosti za pojedinu grupu. Srednja visina stabla najviša je u grupi 0 i iznosi 24,1 metar. Najveći srednji prsni promjer iznosi 31,3 centimetara za grupu K. Najmanja prosječna udaljenost do najbližeg stabla je 3,9 za grupu 0.

Tablica 7. deskriptivna statistika mjerenih parametara

grupe stabala	tretman	prsni promjer (1,3m)	udaljenost do najbližeg stabla	visina stabla	opseg debla				visina baze krošnje
	udaljenost iskopa od debla m	cm	m	m	cm	cm	cm	cm	m
		d	u	h	d1 II	d1.3 II	d1 L	d1.3 L	hk
grupa 2	1	29,8	4,1	22,1	30,0	29,0	29,3	29,7	11,6
grupa 1	1	30,3	4,2	21,0	30,0	29,3	29,7	28,7	11,9
grupa 0	0	28,9	3,9	24,1	29,2	28,2	29,5	28,8	15,3
grupa kontrola	/	31,3	4,3	21,8	32,0	32,0	30,3	30,0	13,0

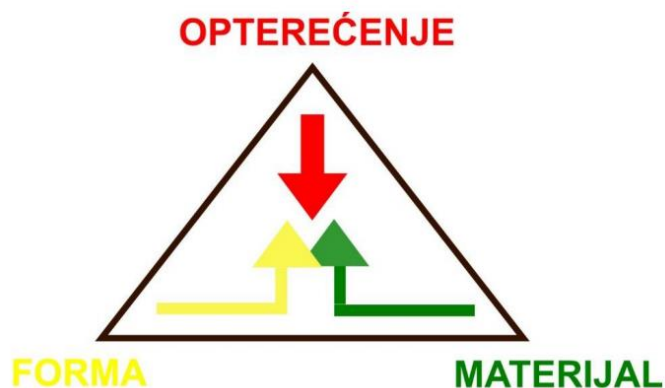
Izračunate su srednje vrijednosti radijusa i površne kritične i hranidbene zone (tablica 12). Površinu kritične zone krijena definira radijus kritične zone koji se izračunao kao umnožak prsnog promjera s 12. Hranidbena koza krijena dvostruko je veća od kritične zone krijena. Kritična zona krijena za grupu 0 najmanja je i iznosi 38 m², dok je najveća prosječna površina kritične zone krijena 44 m² za grupu K.

Tablica 8. Deskriptivna statistika zona korijena po grupama stabala

grupa stabala	tretiranje	prsni promjer (1,3m)	radijus kritična zona korijena	kritična zona korijena	radijus zone hranidbenog korijena	zona hranidbenog korijena
	m	cm	m	m ²	m	m ²
		d	radijus CRZ	CRZ	radijus FRZ	FRZ
grupa 2	2	30,1	3,6	41,0	7,2	164,3
grupa 1	1	29,9	3,6	41,0	7,2	163,7
grupa 0	0	28,9	3,5	38,0	6,9	151,7
grupa kontrola	/	31,3	3,7	44,0	7,5	177,7

3.8. Potezni test

Potezni test (eng. Pulling test) dio je tzv. metode integrirane statičke procjene stabla (njem. Statisch Integrierte Abschätzung, SIA). Metode integrirane statičke procjene temelje se na procjeni stabilnosti stabla gdje se prema Wessolly (2014) statika stabla definira pomoću tri sastavnice statičkog trokuta.



Slika 13. statički trokut stabla (Paulić 2015)

Statički trokut temelj je teorije statike stabla. Sastavnice statičkog trokuta su opterećenje, forma i materijal (Slika 14). Kod stabla opterećenje čine vanjske sile (vjetar, snijeg) te stalna statička naprezanja koja djeluju na svaki kruti objekt (vlastita težina). Oblik, odnosno geometrija izražava se kao struktura stabla, odnosno sam habitus stabla, njegova visina, širina te unutarnja struktura stabla, odnosno poprečni presjek njegovih dijelova (šupljine, pukotine i sl.). Svojstva materijala izražena su kroz strukturu drva koja je ovisna o vrsti drveća (Paulić 2015).

Potezni test uključuje simuliranje sile vjetra na nadzemne dijelove stabla, dok senzori koji su zabijeni u deblo mjere reakciju stabla na to opterećenje.

Izvođenje poteznog testa bazira se na pretpostavci da će se stablo izvaliti pod utjecajem dovoljne sile na nadzemni dio stabla.

Za mjerenje nagiba žilišta s kojim je povezano opterećenje korijenskog sustava korišten je sustav TreeQinetic (Argus electronic, Njemačka). On se sastoji od nekoliko inklinometra, tri elastometra, jednog dinamometra i jedinice za bežično prikupljanje podataka (data logger) (Paulić 2015).

Detaljniji opis pojedinih komponenti nalazi se u tablici tehničkih karakteristika instrumenata sustava (Tablica 9).

Za potrebe ovoga diplomskog rada, izvođen je potezni test prije tretiranja stabala i ponovljeno mjerenje nakon tretiranja.

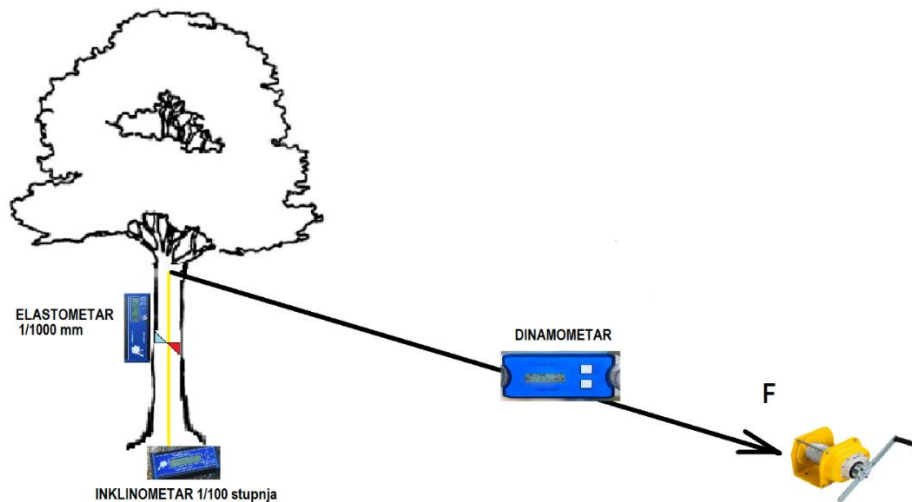
Inklinometri se postavljaju na bazu debla otprilike 5 centimetara od razine tla. Jedan inklinometar se sastoji od dva senzora koji se stavljaju nasuprot jedan drugome. Dva senzora paralelni su sa smjerom potezanja dok su druga dva senzora okomita na smjer potezanja. Inklinometri mjere nagib žilišta od horizontalne osi stabla prilikom potezanja. Nagib žilišta povezan je s opterećenje korijenskog sustava. Elastometri se postavljaju uzdužno na deblu suprotno od strane povlačenja. Mjerenja dobivena elastometrima pratila su se kako potezanjem ne bi došlo do oštećenja ili pucanja debla, ali se ista nisu koristila u obradi podataka i statističkim analizama.



Slika 14. Položaj elastometara i inklinometara na stablu




Nakon postavljanja svih senzora određeno je mjesto sidrenja na ispitivanom stablu koje bi trebalo biti što bliže teoretskom težištu stabla. Izmjerena je visina sidrišta ispitivanog stabla te je na njega postavljeno statičko polipropilensko uže spojeno na dinamometar i na kraju na ručno vitlo koje je bilo povezano sa sidrenim stablom. Zatezanjem čelične sajle ručnim vitlom dužina sajle skraćuje se za 5 centimetara po jednom ručnom zatezanju. Zatezanjem čelične sajle se sila mjerena dinamometrom povećava, dok senzori istovremeno mjere reakciju stabla na opterećenje. Potezni test sastojao se od tri uzastopna potezanja. Svaki potez provoden je po principu ručnog zatezanja vitla do trenutka u kojem žilište biva savijeno do nagiba od $0,2^\circ$ (mjereno inklinometri). U tome trenutku potezanje se zaustavljalo, nategnuto vitlo se zadržalo nekoliko sekundi u tom položaju te se, kako ne bi došlo do trajnog oštećenja stabla, ručno otpuštalo do kraja. Osim vrijednosti elastometara i inklinometara zabilježene su i sile potezanja.

S obzirom da se istraživanje zasnivalo na ponovljenom testu prije i nakon tretiranja visina sidrišta, položaji senzora označeni su tajnom bojom te su u ponovljenom mjerenju korištene iste pozicije.



Slika 15. Shematski prikaz poteznog testa Tree Quinetic (Argus electronic)

Tablica 9. Tehničke karakteristike instrumenata koji se koriste u sustavu poteznog testa (Paulić 2015)

Elaststometer		
Rezolucija	0,1 μm	
Preciznost mjerenja	1 μm	
Mjerni raspon	+/- 2 mm	
Udaljenost između igli	198 – 202 mm	
Promjer igli	2 – 4 mm	
Mak. udaljenost za bežičan prijenos podataka	3 - 30 m	
Inklinometar		
Rezolucija	0,002°	
Preciznost mjerenja	0,005°	
Mjerni raspon	+/- 15°	
Trajanje baterije	~ 20 h kod 20°C	
Mak. udaljenost za bežičan prijenos podataka	3 - 30 m	
Dinamometar		
Rezolucija	0,1 kN	
Preciznost mjerenja	0,3 kN	
Mjerni raspon	0 – 40 kN	
Trajanje baterije	~ 15 h kod 20°C	
Mak. udaljenost za bežičan prijenos podataka	3 - 30 m	

Na temelju dobivenih vrijednosti izračunat je moment savijanja žilišta (eng. Moment bending-Mb) pri otklonu žilišta od 0,2° (Brudi i van Wassenaer, 2002).

Za izračun momenta savijanja žilišta pri otklonu od 0,2° (Mb) potrebni su podatci visine sidrišta, sila u trenutku kada je senzor izmjerio vrijednost od 0,2° i kut užeta pod kojim je stablo potezano.

Mb vrijednost za svaki potez prije i nakon tretiranja izračunata je prema sljedećoj formuli:

$$Mb_{0,2^\circ} = F_{\max} \cos \theta h$$

gdje su:

$Mb_{0,2^\circ}$ – moment savijanja žilišta pri otklonu od $0,2^\circ$ [kNm]

F – sila izmjerena na užetu [kN]

$\cos \theta$ – kut između užeta i horizontalne linije

h – visina sidrišta na stablu [m].

3.8.1. Analiza podataka stabilnosti stabala

Dobiveni podatci poteznog testa su nakon formiranja baze podataka u Excel-u analizirani u programu Statistica 8.0. (StatSoft, Inc. 2003).

3.9. Uzorkovanje mikro izvrtaka (eng. microcores)

Za praćenje razvoja sekundarnog ksilema korištena je tehnika mirko izvrtaka.

Tehnika mirko izvrtaka (eng. microcoring technique) sve se češće koristi za dobivanje uzoraka za praćenje reakcije stabla na promjene okolišnih uvjeta (Balzano, Cufar, Krže, Merela 2022). Analiza mikroskopskih uzoraka omogućuje praćenje kambijalne aktivnost, formiranja drva i floema u stvarnom vremenu, diferencijaciju i sazrijevanja stanica te određivanje kako i kada se one odvijaju (Balzano, Cufar, Krže, Merela 2022).

Mikro izvrtci uzimani su u dvotjednom vremenskom intervalu kroz jednu vegetacijski godinu u periodu od 31. ožujka do 7. srpnja 2023. godine. Ukupno je prikupljeno 192 uzorka (po dva uzorka po stablu za svaki datum uzorkovanja). Mikro izvrtci su odmah stavljeni u FAA fiksativ – formaldehid octenu kiselinu (eng. formaldehyde, alcohol, acetic acid). Nakon sedam dana mikro izvrtci su prebačeni u 70%-tni etanol do daljnjih koraka. Uzorkovanja su provedena 90., 104., 118., 132., 146., 160., 174. i 188. dan u godini.

Tablica 10. Dani u godini kada su se provodila uzorkovanja

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.
Ožujak	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Travanj	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	/
Svibanj	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151
Lipanj	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	/
Srpanj	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212

U tablici 14. su prikazani dani u godini od 1. ožujka (60. dan u godini) do 31. srpnja (212. dan u godini) te su plavom bojom označeni prvi i zadnji datum i dan uzimanja mikro izvrtka, dok su zelenom bojom označeni ostali dani uzorkovanja. Prije samog uzorkovanja bilo je potrebno ukloniti koru nakon čega su mirko izvrtci uzimani alatom Trephor (Rossi et al. 2006). Mikro izvrtci se uobičajeno sastoje od dva dijela različite konzistencije i gustoće pa tako razlikujemo kompaktni ksilem i mekši floem s diferencirajućim stanicama (Slika 17).



Slika 16. koraci uzimanja uzoraka Trephorom

3.10. Izrada trajnih histoloških preparata

Izrada trajnih histoloških preparata proces je koji se sastoji od nekoliko faza.

3.10.1. Priprema mikro izvrtaka za proces uklapanja

Prvi korak u procesu je orijentiranje mikro izvrtaka na način da se na njima olovkom s tintom označava poprečna strana. Označeni mikro izvrtak se skraćuje po potrebi s obje strane te se stavlja u histosetu na koje se evidentira broj stabla i datum uzorkovanja.

3.10.2. Proces dehidracije

Proces dehidracije odvija se u automatiziranom uređaju za obradu tkiva (LEICA TP1020), koji se sastoji od 12 komora. Mikro izvrtci u histosetama prolaze poseban protokol kroz svih 12 komora prema sljedećem redoslijedu:

- I. Etanol 70% 120 minuta
- II. Etanol 70% 120 minuta
- III. Etanol 90% 90 minuta
- IV. Etanol 90% 90 minuta
- V. Etanol 95% 90 minuta
- VI. Etanol 100% 90 minuta
- VII. Etanol 100% 90 minuta
- VIII. Bio Clear 90 minuta
- IX. Bio Clear 90 minuta
- X. Bio Clear 90 minuta
- XI. Parafin 120 minuta
- XII. Parafin 120 minuta

3.10.3. Uklapanje mikro izrtaka u parafinske blokove

Nakon dvadesetsatnog protokola dehidracije mikro izvrtci su uklapani u parafinske blokove na način da je prethodno iscrtana linija položena prema dolje, a sami mikro izvrtci postavljeni su u parafin pod kutom od 45°. Uklapanje je provođeno pomoću uređaja za uklapanje grijanim parafinom (Thermo Microm EC 350 Embedding Station). Parafinski blokovi su zatim ohlađeni kako bi parafin u potpunost očvrstnuo. Parafinski blokovi rezani su u prizmu radi lakšeg naknadnog rezanja na rotacijskom mikrotomu.

3.10.4. Rezanje poprečnog presjeka

Površina parafinskih blokova oblika prizme zaglađena je rezanjem do potpunog „otvaranja uzorka“, odnosno skidanja parafinskog sloja. Parafinski blokovi zatim su uronjeni u destiliranu vodu u trajanju od 24 sata s ciljem omekšavanja. Nakon 24 sata namakanja, blokovi su pripremljeni za rezanje.

Poprečni presjeci (debljine 8 µm) pripremljeni su s Leica RM 2245 polurotacijskim kružnim mikrotomom koristeći se Leica jednokratnim noževima.

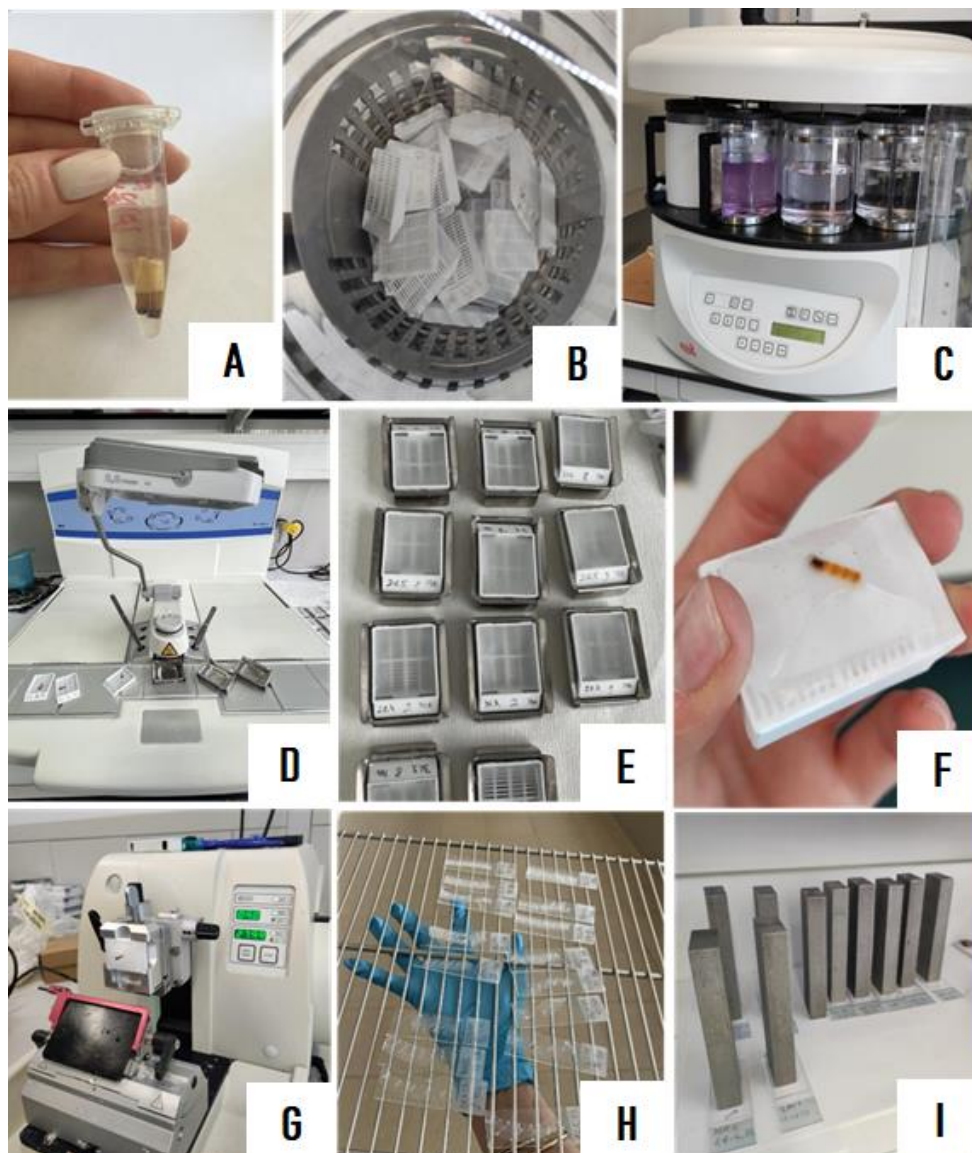
Nekoliko sekcija uronjeno je u vodu zagrijanu na 40°C pa zatim prebačeno na predmetno stakalce koje je prethodno označeno i premazano albuminom radi boljeg prijanjanja sekcija na stakalce. Nakon sušenja na sobnoj temperaturi, stakalca su stavljena u pećnicu na 70°C u trajanju od 20 minuta.

3.10.5. Bojanje uzoraka

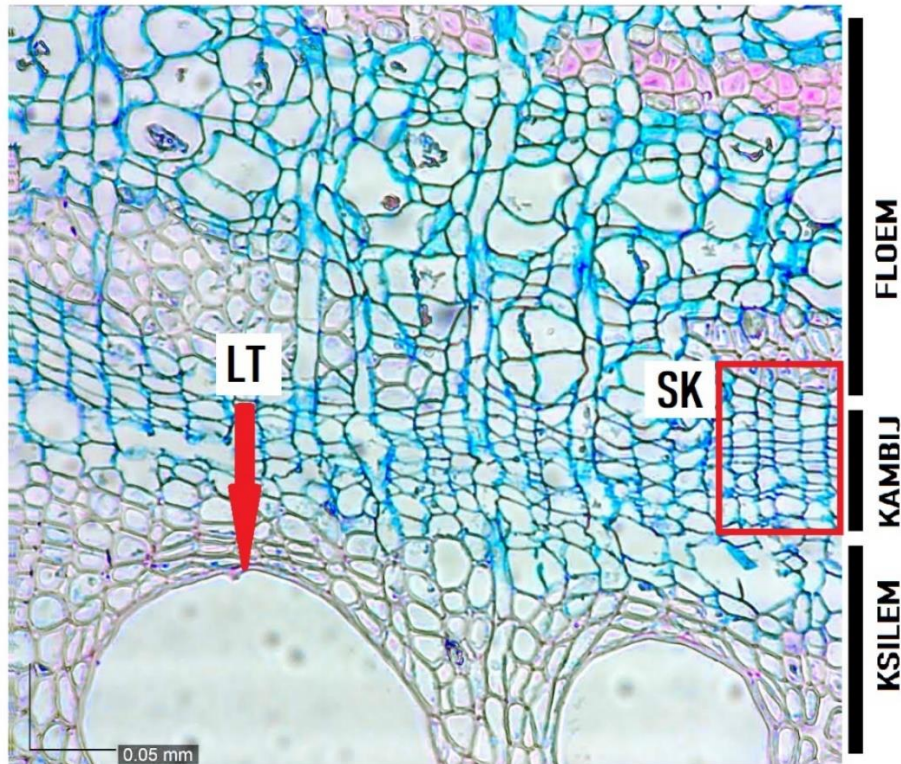
Prije samog bojanja bilo je potrebno ukloniti višak parafina sa stakalca. Za uklanjanje parafina korišten je Bio Clear i apsolutni etanol. Nakon uklanjanja parafina uzorci su obojani u mješavini safranina i astra blue (safranin boji ligninsku, a astra blue celuloznu komponentu stanične stijenke) te nakon toga isprani u destiliranoj vodi, 70%-tnom etanolu i apsolutnom etanolu po nekoliko sekundi.

3.10.6. Izrada trajnih histoloških preparata

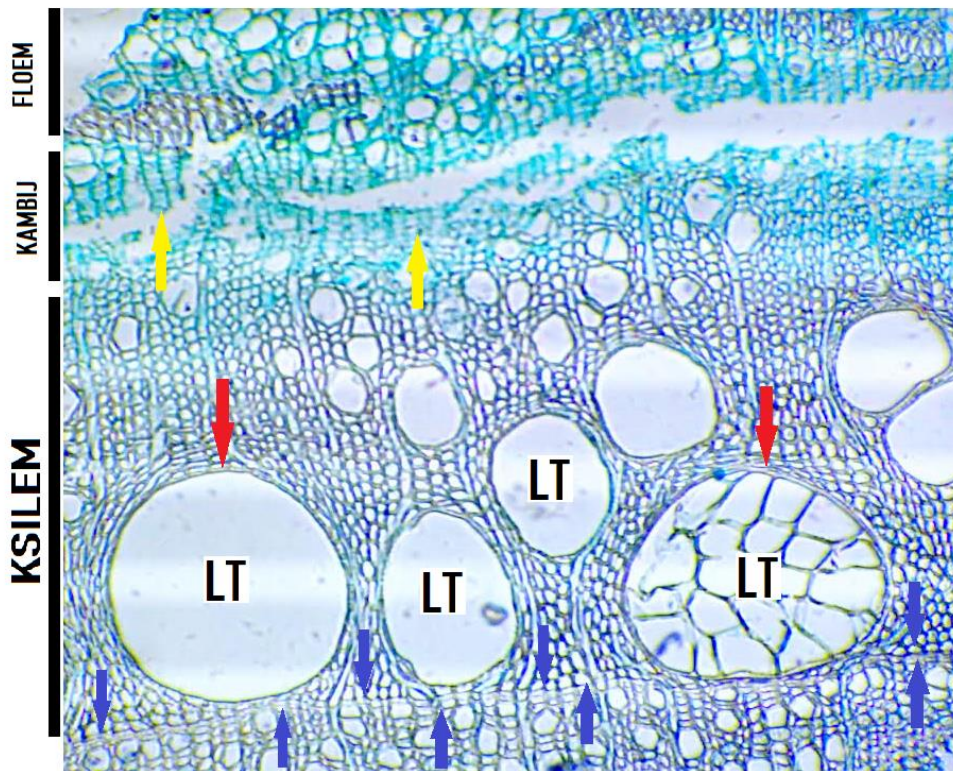
Kada su se stakalca s uzorcima poprečnog presjeka osušila, uklopljene su pokrovnim stakalcima pomoću medija za uklapanje (euparal). Histološki preparati ostavljeni su tijekom 48 sata da se otvrdnu pod opterećenjem.



Slika 17. Koraci izrade trajnih histoloških preparata (A – mikro izvrtci prije postupka; B – orijentirani mikro izvrtci u histosetama; C – automatizirani uređaj za obradu tkiva; D – uređaj za uklapanje grijanim parafinom; E – uklopljeni mikro izvrtci u parafinske blokove; F – oblikovana površina parafinskog bloka u prizmu; G – polurotacijski kružni mikrotom; H – uzorci na predmetnim stakalcima nakon pečenja; I – histološki preparati u zadnjoj fazi u kojoj su se stvrdnuli pod opterećenjem



Slika 18. Poprečni presjek floema, ksilema i kambija (LT – lumen traheje; SK – stanice kambija)



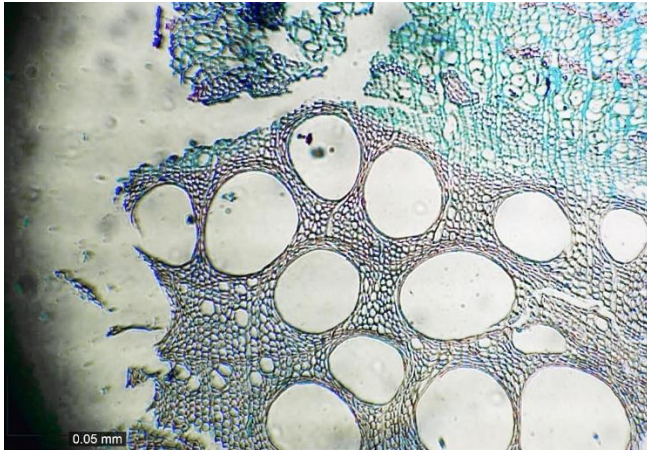
Slika 19. Poprečni prijesjek floema, ksilema i kambija (LT – lumen traheja; crvene strelice – lumeni traheja; plave strelice – granica goda; žute strelice – stanice kambija)

3.10.7. Fotografiranje uzoraka i mjerenje anatomskih karakteristika

Svjetlosnim mikroskopom modela Jena (proizvođač Carl Zeiss) i na njega postavljenom digitalnom kamerom DinoLite rezolucije 5 megapiksela snimljene su 552 fotografije poprečnog presjeka. Korišteno je povećanje 64x za snimanje lumena traheja i povećanje 200x za snimanje stanica kambija. Za potrebe umjeravanja kod mjerenja, skala objekta mikrometra fotografirana je pri povećanju 64x i 200x. Ukupno je snimljeno 414 fotografija koristeći manje i 138 fotografija koristeći veće povećanje.

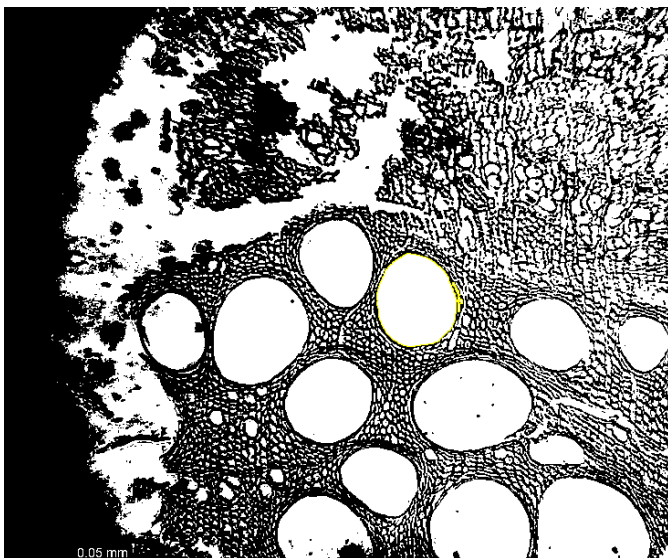
Mjerenja anatomskih svojstava drva na fotografijama poprečnog presjeka provedena su u programu ImageJ koji je podržan u Javi. Postupak mjerenja u programu ImageJ proveden je na sljedeći način:

1. prije samog mjerenja, udaljenost u sustavu ImageJ na zaslonu računala umjerena je s prethodno snimljenom fotografijom mjerne skale (μm)
2. željena fotografija (Slika 20.) uvedena je u program ImageJ



Slika 20. Program ImageJ

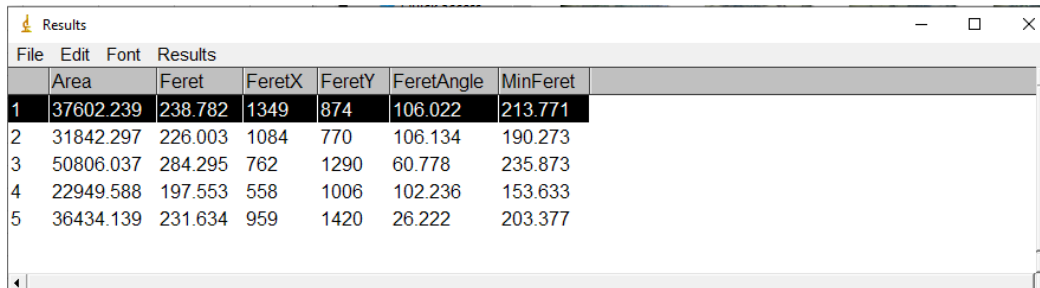
3. odabrana je opcija 8-bitne slike (1 piksel prikazan je s 8 bitova)
4. na alatnoj traci programa sustav automatski prikaže ukupnu površinu slike (μm^2)
5. alatom za analizu čestica označeni su lumeni traheja (Slika 21.)



Slika 21. Program ImageJ

6. u programu su odabrane opcije mjerenja površine i promjera označenih lumena traheja

(μm) (Slika 22.)



The screenshot shows the 'Results' window in ImageJ. The window title is 'Results' and it has a menu bar with 'File', 'Edit', 'Font', and 'Results'. Below the menu bar is a table with 7 columns: 'Area', 'Feret', 'FeretX', 'FeretY', 'FeretAngle', and 'MinFeret'. The first row is highlighted in black. The data in the table is as follows:

	Area	Feret	FeretX	FeretY	FeretAngle	MinFeret
1	37602.239	238.782	1349	874	106.022	213.771
2	31842.297	226.003	1084	770	106.134	190.273
3	50806.037	284.295	762	1290	60.778	235.873
4	22949.588	197.553	558	1006	102.236	153.633
5	36434.139	231.634	959	1420	26.222	203.377

Slika 22. Program ImageJ

Broj stanica kambija je mjeren direktno na slici.

3.11. Analiza anatomskih karakteristika

Podaci dobiveni istraživanjem anatomskih svojstava drva hrasta kitnjaka s područja park-šume Dotrščina sortirani su u MS Excelu u baze za daljnju statističku obradu. Statistička obrada izvršena je u programskom paketu Statistica 10 (StatSoft, Inc. 2003). Korišteni su modeli analize varijance ponovljenih mjerenja (ANOVA). Statistička značajnost određena je p-vrijednošću. P-vrijednosti manje ili jednake 0,05 odbacuje nultu hipotezu te je utvrđena statistički značajna razlika. Ukoliko je p-vrijednost veća od 0,05 hipoteze se ne odbacuju, a razlike nisu statistički značajne.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4.1. Utjecaj oštećenja korijenskog sustava na stabilnost stabala

Cilj ponovljenog poteznog testa koji se sastojao od tri uzastopna povlačenja stabala bio je utvrditi postoji li statistički značajna razlika u nagibu žilišta i opterećenju korijenskog sustava kod stabala kojima je oštećen i uklonjen dio korijenskog sustava u usporedbi s nagibom žilišta i opterećenjem korijenskog sustava prije tretiranja. Svakom stablu je određivana stabilnost pri tri uzastopna potezanja poteznim testom. Ukupno su provedena 72 ponovljena mjerenja otklona žilišta do $0,2^\circ$ kod 12 stabala. Rezultati istraživanja temelje se na aritmetičkim sredinama izmjerenih vrijednosti inklinometara. Za svako potezanje stabla četiri senzora mjerila su reakciju žilišta te je za potrebe statističke analize dobiveno osam vrijednosti. Za svako stablo izračunati su momenti savijanja žilišta (M_b). Rezultati navedenih mjerenja prikazani su u ovome pod poglavlju grafički uz pripadajuće deskriptivnu statistiku i rezultate analize varijance ponovljenih mjerenja.

Izračunate M_b vrijednosti prema formuli $M_b 0,2^\circ = F_{\max} \cos \theta h$ prikazane su u tablicama 15., 11., 12. i 13.. U tablici 19. prikazana je deskriptivna statistika za izračunate M_b vrijednosti.

Tablica 11. Izračunati momenti savijanja žilišta prije i nakon tretmana za stabla koja su tretirana iskopom na 0 m od debla (stabla 4, 5 i 7)

GRUPA 0							
broj stabla	tretman	Moment savijanja žilišta PRIJE			Moment savijanja žilišta NAKON		
4	0	54,3	89,2	59,4	54,9	54,4	58,0
5	0	38,4	39,7	40,0	39,4	41,4	40,9
7	0	54,3	54,0	52,6	50,7	51,4	50,7

Tablica 12. Izračunati momenti savijanja žilišta prije i nakon tretmana za stabla koja su tretirana iskopom na 1 m od debla (stabla 2, 6 i 11)

GRUPA 1							
broj stabla	tretman	Moment savijanja žilišta PRIJE			Moment savijanja žilišta NAKON		
2	1	47,7	54,4	54,3	48,7	52,6	54,8
6	1	11,1	17,9	28,1	31,1	29,0	28,2
11	1	40,4	42,4	49,0	40,6	43,0	41,5

Tablica 13. Izračunati momenti savijanja žilišta prije i nakon tretmana za stabla koja su tretirana iskopom na 2 m od debla (stabla 1, 3 i 8)

GRUPA 2							
broj stabla	tretman	Moment savijanja žilišta PRIJE			Moment savijanja žilišta NAKON		
1	2	58,8	57,4	57,5	54,7	59,4	58,9
3	2	62,8	62,8	60,5	58,1	62,7	65,8
8	2	45,9	47,1	46,0	45,9	46,2	48,8

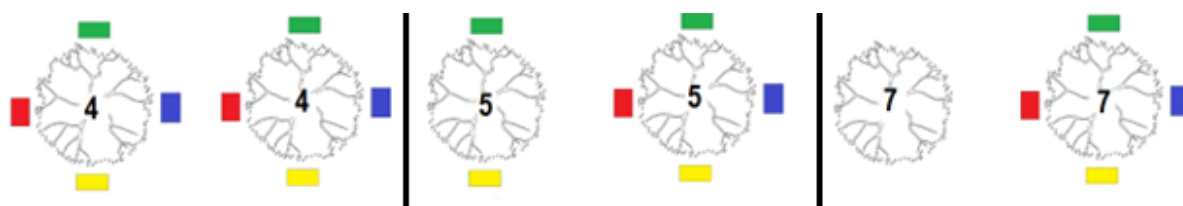
Tablica 14. Izračunati momenti savijanja žilišta prije i nakon tretmana za kontrolna stabla koja nisu tretirana (stabla 9, 10 i 12)

GRUPA KONTROLA							
broj stabla	tretman	Moment savijanja žilišta PRIJE			Moment savijanja žilišta NAKON		
9	kontrola	17,3	22,3	19,0	24,2	23,7	20,1
10	kontrola	60,6	59,3	65,2	46,5	45,1	47,6
12	kontrola	25,4	30,5	27,3	36,5	37,8	41,3

U tablici 15. prikazane su maksimalne vrijednosti izmjerenih sila potezanja pri trećim potezima prije i nakon tretiranja. Također, navedeni su senzori (prema bojama) onog inklinometra koji je prilikom trećeg poteza prije i nakon tretiranja prvi izmjerio vrijednost savijanja žilišta od $0,2^\circ$ te vrijednost izmjerene sile u tome trenutku.

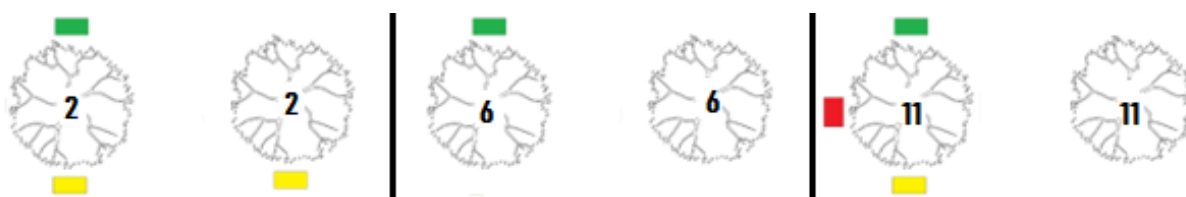
Tablica 15. Aktivacija senzora

br. Stabla	tretiranje	Fmax (PRIJE)	F (prvi aktivirani senzor)	Prvi aktivirani senzor	Fmax (NAKON)	F (prvi aktivirani senzor)	Prvi aktivirani senzor
	udaljenost iskopa od debla (m)	N	N	boja senzora	N	N	boja senzora
4	0	9,05	4,03	ZELENA	9,07	4,63	ZELENA
5	0	6,36	6,09	ŽUTA	6,51	4,06	ŽUTA
7	0	8,36	/	/	8,07	4,25	ŽUTA
2	1	8,24	7,99	ŽUTA	8,32	7,78	ŽUTA
6	1	5,49	5,49	ZELENA	5,45	/	/
11	1	9,48	7,28	CRVENI	8,1	7,1	ZELENA
1	2	8,37	6,71	PLAVA	8,69	7,64	ZELENA
3	2	10,47	8,67	ŽUTA	9,61	9,9	ŽUTA
8	2	7,67	6,79	ŽUTA	8,16	/	/
9	kontrola	7,32	4,88	ZELENA	7,23	4,98	PLAVA
10	kontrola	10,04	/	/	9,88	7,92	CRVENA
12	kontrola	6,31	5,04	ŽUTA	6,61	6,3	ŽUTA



Slika 23. Aktivacija senzora za grupu 0 (stabla 4, 5 i 7)

Stabla 4, 5 i 7 tretirana su iskopima na nula metara udaljenosti od debla. Na slici 23. prikazu prikazani su inklinometri čije su vrijednosti prilikom trećeg povlačenja prije (lijevo) i nakon tretiranja (desno) izmjerile vrijednosti od $0,2^\circ$ ili više. Plavi i crveni inklinometri paralelni su sa smjerom potezanja, dok su žuti i zeleni inklinometri okomiti na smjer potezanja. Kod stabla 4 prilikom trećeg potezanja prije tretiranja oba inklinometra tj. sva četiri senzora izmjerila su vrijednosti od $0,2^\circ$ i više. Kod trećeg poteza nakon tretiranja također su oba inklinometra izmjerila granične i veće vrijednosti. Maksimalna sila potezanja prije tretiranja iznosila je 9,05 N, a nakon tretiranja 9,07 N (Tablica 15.). U trećem potezu prije tretiranja prvi sensor koji je izmjerio vrijednost od $0,2^\circ$ bio je zeleni sensor pri sili od 4,03 N, dok je kod trećeg poteza nakon tretiranja zeleni sensor prvi izmjerio vrijednost od $0,2^\circ$ pri sili od 4,63 N (Tablica 20.). Kod stabla 5 prilikom trećeg potezanja prije tretiranja inklinometar okomit na smjer potezanja, tj. dva senzora izmjerila su vrijednosti od $0,2^\circ$ i više. Kod trećeg poteza nakon tretiranja također su oba inklinometra izmjerila granične i veće vrijednosti. Maksimalna sila potezanja prije tretiranja iznosila je 6,36 N, a nakon tretiranja 6,51 N (Tablica 15.). U trećem potezu prije tretiranja prvi sensor koji je izmjerio vrijednost od $0,2^\circ$ bio je žuti sensor pri sili od 6,09 N, dok je kod trećeg poteza nakon tretiranja žuti sensor prvi izmjerio vrijednost od $0,2^\circ$ pri sili od 4,06 N (Tablica 15.). Kod stabla 7 prilikom trećeg potezanja prije tretiranja inklinometri su izmjerili vrijednosti niže od granične vrijednosti od $0,2^\circ$, dok su u trećem potezu nakon tretiranja oba inklinometra izmjerila graničnu vrijednost od $0,2^\circ$ i veću. Maksimalna sila potezanja prije tretiranja iznosila je 8,36 N, a nakon tretiranja 8,07 N (Tablica 15.). U trećem potezu nakon tretiranja žuti sensor prvi je izmjerio vrijednost od $0,2^\circ$ pri sili od 4,25 N (Tablica 15.).



Slika 24. Aktivacija senzora za grupu 1 (stabla 2, 6 i 11)

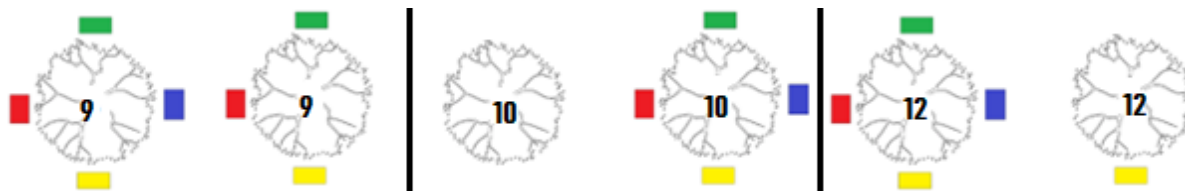
Stabla 2, 6 i 11 tretirana su iskopima na jedan metara udaljenosti od debla. Na slici 24. prikazani su inklinometri čije su vrijednosti prilikom trećeg povlačenja prije (lijevo) i nakon tretiranja (desno) izmjerile vrijednosti od $0,2^\circ$ ili više. Plavi i crveni inklinometri paralelni su sa smjerom potezanja, dok su žuti i zeleni inklinometri okomiti na smjer potezanja. Kod stabla 2 prilikom trećeg potezanja prije tretiranja inklinometar okomit na smjer potezanja, tj. dva senzora izmjerila su vrijednosti od $0,2^\circ$ i više dok je kod trećeg potezanja nakon tretiranja okomiti inklinometar i to samo žuti sensor izmjerio graničnu vrijednost. Maksimalna

sila potezanja prije tretiranja iznosila je 8,24 N, a nakon tretiranja 8,32 N (Tablica 15.). U trećem potezu prije tretiranja prvi senzor koji je izmjerio vrijednost od 0,2° bio je žuti senzor pri sili od 7,99 N, dok je kod trećeg poteza nakon tretiranja također žuti senzor prvi izmjerio vrijednost od 0,2° pri sili od 7,78 N (Tablica 15.). Kod stabla 6 prilikom trećeg potezanja prije tretiranja inklinometar okomit na smjer potezanja tj. jedan senzor, ujedno i prvi senzor izmjerio je vrijednosti od 0,2° i više. Inklinometri u trećem potezu nakon tretiranja nisu izmjerili granične vrijednosti. Maksimalna sila potezanja prije tretiranja iznosila je 5,49 N, a nakon tretiranja 5,45 N (Tablica 15.). U trećem potezu prije tretiranja prvi senzor izmjerio je vrijednost od 0,2° pri sili od 5,49 N. Kod trećeg potezanja nakon tretiranja niti jedan senzor nije prešao graničnu vrijednost od 0,2°. (Tablica 15.). Kod stabla 11 prilikom trećeg potezanja prije tretiranja oba su inklinometra izmjerila vrijednosti od 0,2° i više. Kod trećeg poteza nakon tretiranja inklinometri nisu izmjerili granične vrijednosti. Maksimalna sila potezanja prije tretiranja iznosila je 9,48 N, a nakon tretiranja 8,1 N (Tablica a nakon tretiranja 8,1 N (Tablica 15.). U trećem potezu nakon tretiranja inklinometri su izmjerili vrijednosti koje nisu prelazile graničnu vrijednost od 0,2°. (Tablica 15.).



Slika 25. Aktivacija senzora za grupu 2 (stabla 1, 3 i 8)

Stabla 1, 3 i 8 tretirana su iskopima na dva metara udaljenosti od debla. Na slici 25. prikazani su inklinometri čije su vrijednosti prilikom trećeg povlačenja prije (lijevo) i nakon tretiranja (desno) izmjerile vrijednosti od 0,2° ili više. Plavi i crveni inklinometri paralelni su sa smjerom potezanja, dok su žuti i zeleni inklinometri okomiti na smjer potezanja. Kod stabla 1 prilikom trećeg potezanja prije tretiranja oba inklinometra tj. sva četiri senzora izmjerila su vrijednosti od 0,2° i više, a također su oba inklinometra u trećem potezu nakon tretiranja izmjerila granične i veće vrijednosti. Maksimalna sila potezanja prije tretiranja iznosila je 8,37 N, a nakon tretiranja 8,69 N (Tablica 15.). U trećem potezu prije tretiranja prvi senzor koji je izmjerio vrijednost od 0,2° bio je plavi senzor pri sili od 6,71 N, dok je kod trećeg poteza nakon tretiranja zeleni senzor prvi izmjerio vrijednost od 0,2 pri sili od 7,64 N (Tablica 15.). Kod stabla 3 prilikom trećeg potezanja prije tretiranja i nakon tretiranja inklinometar okomit na smjer potezanja tj. oba senzora izmjerila su vrijednosti od 0,2° i više. Maksimalna sila potezanja prije tretiranja iznosila je 10,47 N, a nakon tretiranja 9,61 N (Tablica 15.). U trećem potezu prije tretiranja prvi senzor koji je izmjerio vrijednost od 0,2° bio je žuti senzor pri sili od 8,67 N, dok je kod trećeg poteza nakon tretiranja žuti senzor prvi izmjerio vrijednost od 0,2° pri sili od 9,9 N (Tablica 15.). Kod stabla 8 prilikom trećeg potezanja prije tretiranja inklinometar okomit na smjer potezanja izmjerio je graničnu vrijednost dok su u potezu nakon tretiranja vrijednosti izmjerene na oba inklinometra bile niže od granične vrijednosti. Maksimalna sila potezanja prije tretiranja iznosila je 7,67 N, a nakon tretiranja 8,16 N (Tablica 15.). U trećem potezu prije tretiranja žuti senzor prvi je izmjerio vrijednost od 0,2 pri sili od 6,79 N (Tablica 15.).



Slika 26. Aktivacija senzora za grupu kontrola (stabla)

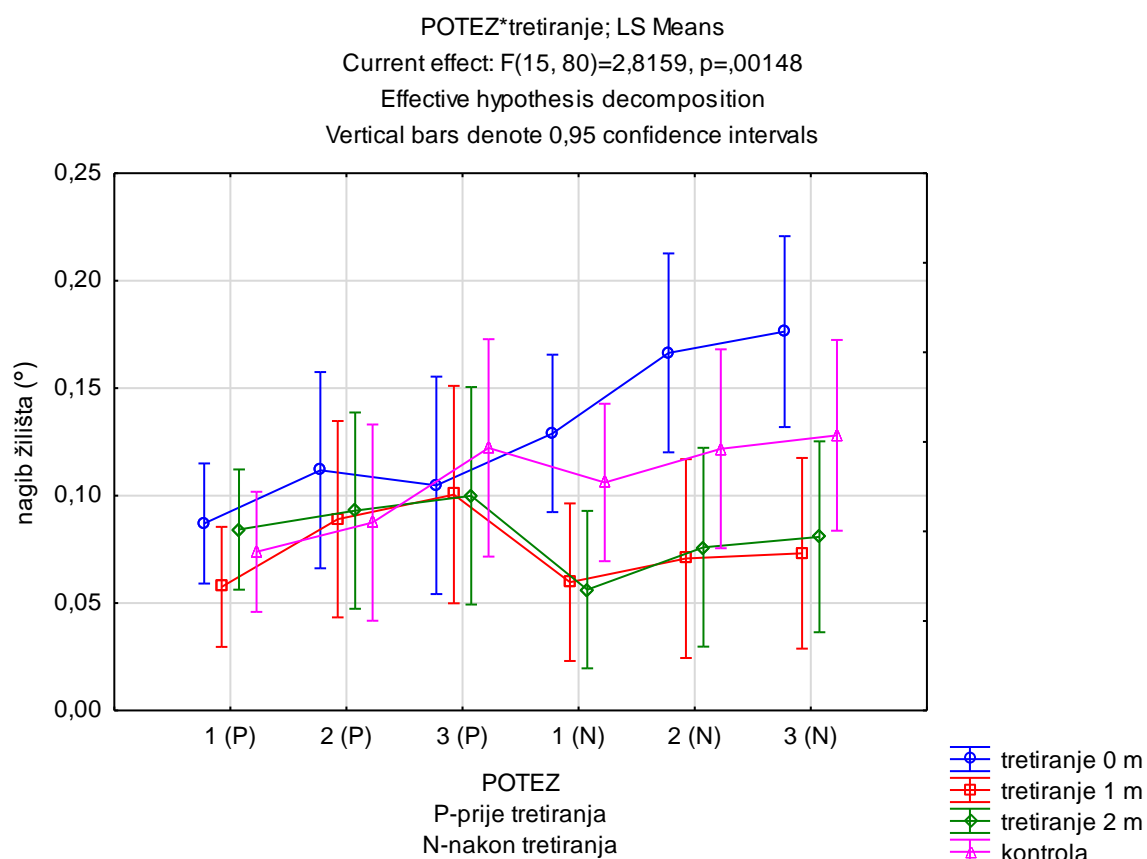
Stabla 9, 10 i 12 nisu tretirana iskopima te pripadaju kontrolnoj grupi stabala. Na slici 26. prikazu prikazani su inklinometri čije su vrijednosti prilikom trećeg povlačenja prije (lijevo) i nakon tretiranja (desno) izmjerile vrijednosti od $0,2^\circ$ ili više. Plavi i crveni inklinometri paralelni su sa smjerom potezanja, dok su žuti i zeleni inklinometri okomiti na smjer potezanja. Kod stabla 9 prilikom trećeg potezanja prije i nakon tretiranja oba inklinometra izmjerila su prije tretiranja iznosila je 7,32 N, a nakon tretiranja 7,23 N (Tablica 15.). U trećem potezu prije tretiranja prvi senzor koji je izmjerio vrijednost od $0,2^\circ$ bio je zeleni senzor pri sili od 4,88 N, dok je kod trećeg poteza nakon tretiranja plavi senzor prvi izmjerio vrijednost od $0,2^\circ$ pri sili od 4,98 N (Tablica 15.). Kod stabla 10 prilikom trećeg potezanja prije tretiranja inklinometri su izmjerili vrijednosti manje od granične vrijednosti dok su kod trećeg potezanja nakon tretiranja oba inklinometra izmjerila vrijednosti jednake graničnoj vrijednosti ili veće. Maksimalna sila potezanja prije tretiranja iznosila je 10,4 N, a nakon tretiranja 9,88 N (Tablica 15.). U trećem potezu nakon tretiranja prvi senzor koji je izmjerio vrijednost od $0,2^\circ$ bio je crveni senzor pri sili od 7,92 N (Tablica 15.). Kod stabla 12 prilikom trećeg potezanja prije tretiranja oba inklinometra izmjerila su vrijednosti jednake ili veće od granične vrijednosti, dok je u trećem potezu nakon tretiranja inklinometar okomit na smjer potezanja izmjerio vrijednosti jednake ili veće od granične vrijednosti. Maksimalna sila potezanja prije tretiranja iznosila je 6,31 N, a nakon tretiranja 6,61 N (Tablica 15.). U trećem potezu prije i nakon tretiranja prvi senzor bio je žuti, prije tretiranja pri sili od 5,04 N, a nakon tretiranja 6,3 N (Tablica 15.).

Utjecaj oštećenja i uklanjanja korijenskog sustava simulacijom iskupa na nagib žilišta prikazan je usporedbom aritmetičkih sredina izmjerenih vrijednosti inklinometara prije i nakon različitih udaljenosti iskopa od debla. Navedene usporedbe prikazane su grafički, uz pripadajuću deskriptivnu statistiku i rezultate analize varijance ponovljenih mjerenja.

Tablica 16. Analiza varijanci za inklinometar paralelan na smjer potezanja (svi potezi)

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance (Spreadsheet1)				
	Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,387208	1	1,387208	144,0350	0,000000
tretiranje	0,066166	3	0,022055	2,2900	0,117360
position	0,000069	1	0,000069	0,0071	0,933761
tretiranje*position	0,022438	3	0,007479	0,7766	0,524019
Error	0,154097	16	0,009631		
POTEZ	0,025924	5	0,005185	5,2964	0,000297
POTEZ*tretiranje	0,041349	15	0,002757	2,8159	0,001482
POTEZ*position	0,000594	5	0,000119	0,1213	0,987273
POTEZ*tretiranje*position	0,004839	15	0,000323	0,3295	0,990511
Error	0,078314	80	0,000979		

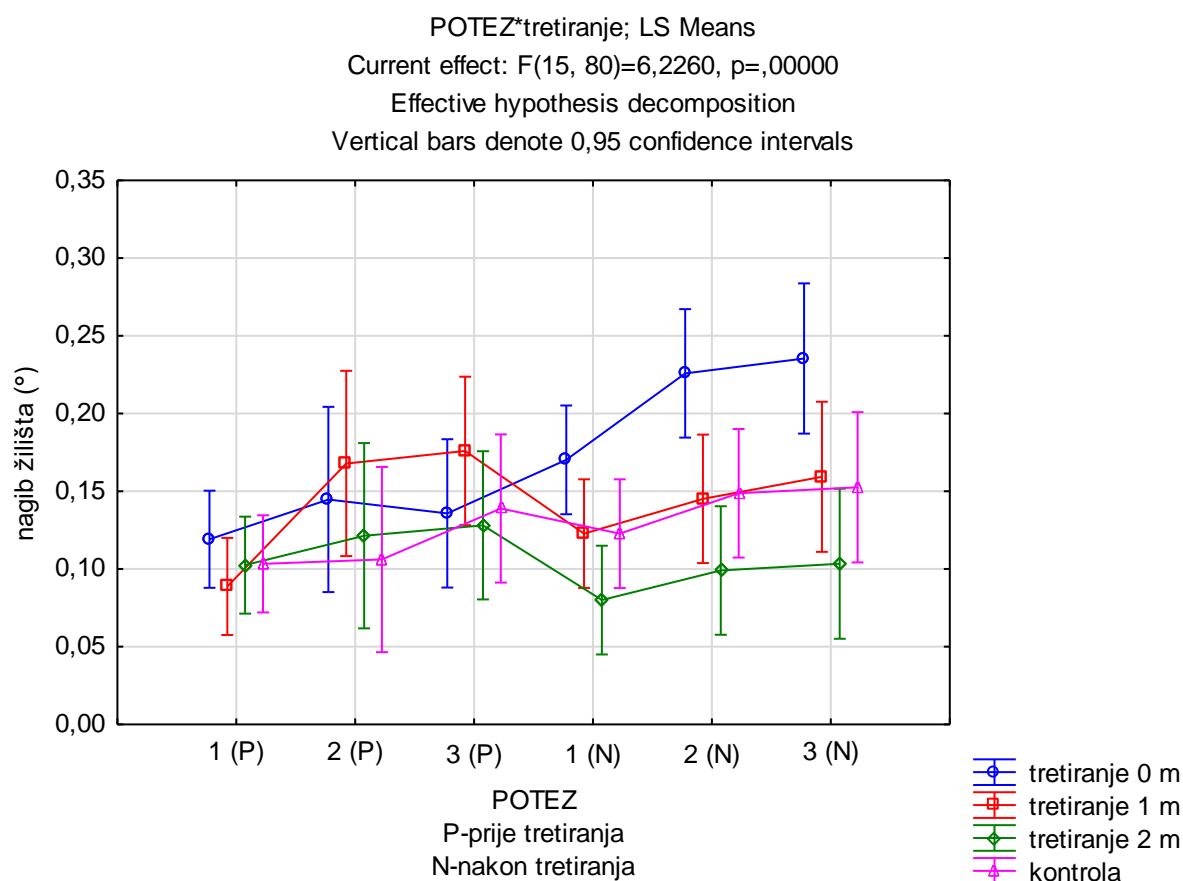
Grafički prikaz 1. Analiza varijanci za inklinometar paralelan na smjer potezanja svih poteza



Tablica 17. Analiza varijanci za inklinometar okomit na smjer potezanja (svi potezi)

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance (Spreadsheet1)				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2,719220	1	2,719220	218,9954	0,000000
tretiranje	0,082777	3	0,027592	2,2222	0,125102
position	0,000517	1	0,000517	0,0416	0,840927
tretiranje*position	0,006063	3	0,002021	0,1628	0,919850
Error	0,198669	16	0,012417		
R1	0,055933	5	0,011187	15,1352	0,000000
R1*tretiranje	0,069025	15	0,004602	6,2260	0,000000
R1*position	0,000684	5	0,000137	0,1851	0,967453
R1*tretiranje*position	0,000984	15	0,000066	0,0888	0,999997
Error	0,059129	80	0,000739		

Grafički prikaz 2. Analiza varijanci za inklinometar okomit na smjer potezanja svih poteza

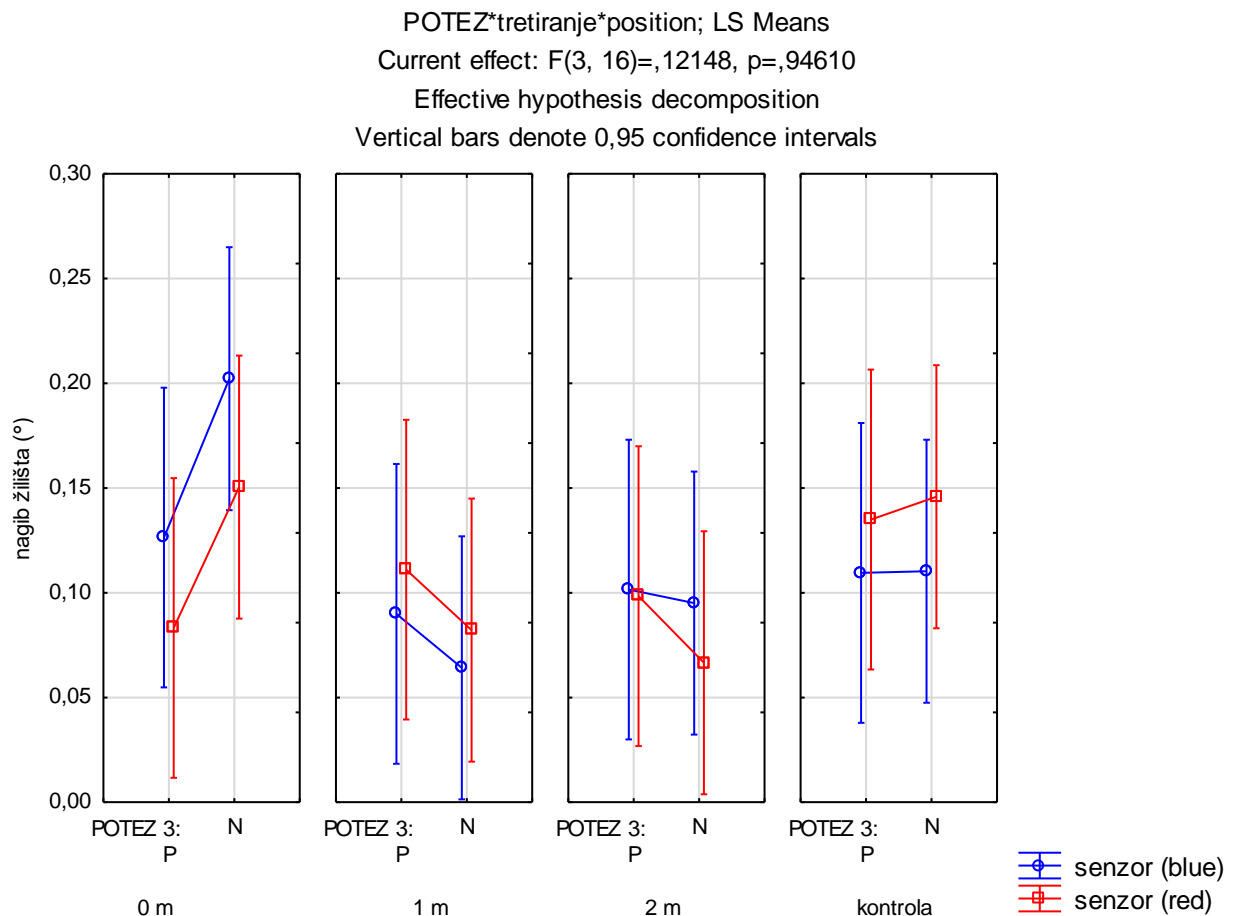


Analizama varijanci ponovljenih mjerenja utvrđeno je da postoje statistički značajne razlike između tretiranja, ali i između poteza (prvi potez prije tretiranja, drugi potez prije tretiranja, treći potez prije tretiranja, prvi potez nakon, drugi potez nakon i treći potez nakon tretiranja) kod oba inklinometra (Tablica 16. i Tablica 17.).

Tablica 18. Analiza varijanci za inklinometar paralelan na smjer potezanja (treći potez prije i treći potez nakon tretiranja)

Repeated Measures Analysis of Variance (Spreadsheet1)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,588454	1	0,588454	124,6804	0,000000
tretiranje	0,024986	3	0,008329	1,7646	0,194368
position	0,000131	1	0,000131	0,0278	0,869714
tretiranje*position	0,011314	3	0,003771	0,7990	0,512343
Error	0,075515	16	0,004720		
POTEZ	0,000718	1	0,000718	0,5401	0,473021
POTEZ*tretiranje	0,018075	3	0,006025	4,5313	0,017542
POTEZ*position	0,000136	1	0,000136	0,1024	0,753131
POTEZ*tretiranje*position	0,000485	3	0,000162	0,1215	0,946104
Error	0,021274	16	0,001330		

Grafički prikaz 3. Analiza varijanci za inklinometar paralelan na smjer potezanja (treći potez prije i treći potez nakon tretiranja)



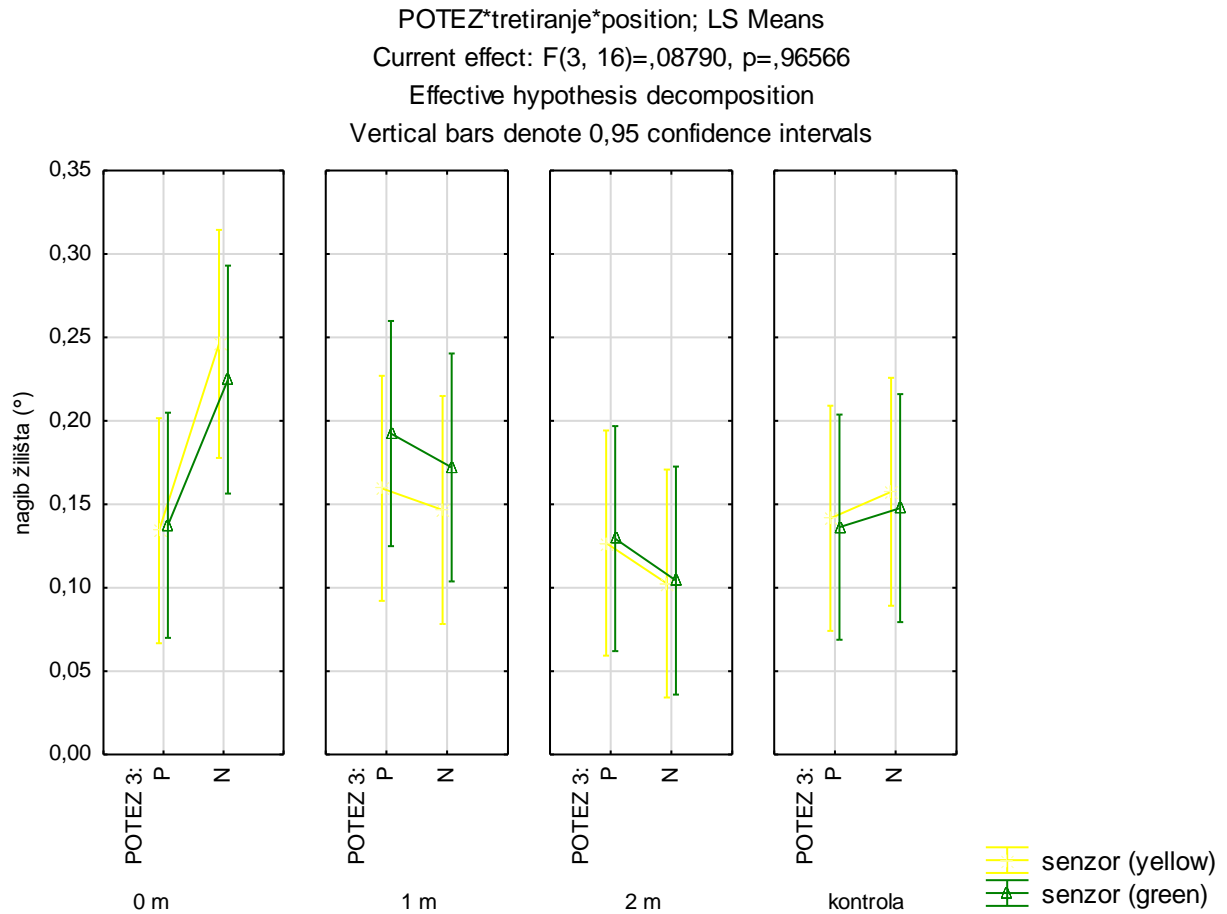
Analizom varijanci ponovljenih mjerenja analizirane su izmjerene vrijednosti inklinometra paralelnog na smjer potezanja stabla (Tablica 18.) Utvrđeno je da ne postoji statistički značajna razlika između senzora (pozicija) za treći potez prije i nakon tretiranja, dok statistički značajna razlika (za treći potez prije i nakon tretiranja) između tretiranja postoji (Tablica 18.) LSD Post-Hoc testom utvrđeno je između kojih tretiranja postoji statistički značajna razlika. Statistički značajna razlika postoji između trećeg potezanja prije tretiranja i trećeg potezanja nakon tretiranja pri tretiranju na nula metara udaljenosti od debla. Utjecaj toga tretmana statistički je značajno utjecao na nagib žilišta što upućuje na negativne promjene koje utječu na stabilnost samih stabala.

Post-Hoc testom također je utvrđeno da postoje statistički značajne razlike trećeg poteza nakon tretiranja na nula metara s tretiranjima na jedan metar, dva metra i s kontrolnim stablima. Ne postoji statistički značajna razlika između kontrolnih stabala i stabala tretiranih na jedan i dva metra. Također ne postoji statistički značajna razlika kod istih stabala u trećem potezu prije i nakon tretiranja što upućuje da iskopi na jedan i dva metra nemaju statistički značajan utjecaj na nagib žilišta i općenito stabilnost stabla.

Tablica 19. Analiza varijanci za inklinometar okomit na smjer potezanja (treći potez prije i treći potez nakon tretiranja)

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,133845	1	1,133845	217,8932	0,000000
tretiranje	0,032593	3	0,010864	2,0878	0,142136
position	0,000162	1	0,000162	0,0312	0,862075
tretiranje*position	0,002820	3	0,000940	0,1806	0,907980
Error	0,083259	16	0,005204		
POTEZ	0,003882	1	0,003882	4,0827	0,060391
POTEZ*tretiranje	0,029131	3	0,009710	10,2111	0,000534
POTEZ*position	0,000261	1	0,000261	0,2748	0,607329
POTEZ*tretiranje*position	0,000251	3	0,000084	0,0879	0,965656
Error	0,015215	16	0,000951		

Grafički prikaz 4. Analiza varijanci za inklinometar okomit na smjer potezanja (treći potez prije i treći potez nakon tretiranja)



Analizom varijanci ponovljenih mjerenja analizirane su izmjerene vrijednosti inklinometra paralelnog na smjer potezanja stabla (Tablica 19.) kao i vrijednosti inklinometra okomitog na smjer potezanja stabla (Tablica 19.). Kod oba inklinometra utvrđeno je da ne postoji statistički značajna razlika između senzora (pozicija) za treći potez prije i nakon tretiranja, dok statistički značajna razlika (za treći potez prije i nakon tretiranja) između tretiranja postoji. LSD Post-Hoc testovima utvrđeno je između kojih tretiranja postoji statistički značajna razlika za oba inklinometra. Kod oba inklinometra statistički značajna razlika postoji između trećeg potezanja prije tretiranja i trećeg potezanja nakon tretiranja pri tretiranju na nula metara udaljenosti od debla. Utjecaj toga tretmana statistički je značajno utjecao na nagib žilišta što upućuje na negativne promjene koje utječu na stabilnost samih stabala. Post-Hoc testom, kod oba inklinometra, također je utvrđeno da postoje statistički značajne razlike trećeg poteza nakon tretiranja na nula metara s tretiranjima na jedan metar, dva metra i s kontrolnim stablima. Kod oba inklinometra, ne postoji statistički značajna razlika između kontrolnih stabala i stabala tretiranih na jedan i dva metra. Također ne postoji statistički značajna razlika kod istih stabala u trećem potezu prije i nakon tretiranja što upućuje da iskopi na jedan i dva metra nemaju statistički značajan utjecaj na nagib žilišta i općenito stabilnost stabla. Usporedbom inklinometara vidljivo je da je nagib žilišta inklinometra okomitog na smjer potezanja bio veći te je vrijednost prekoračila graničnu vrijednost do $0,2^\circ$. Kod ostalih tretiranja, kod ovoga

inklinometra, nagibi žilišta bili su niži od granične vrijednosti. Kod inklinometra paralelnog na smjer potezanja nagib žilišta je samo kod tretiranja na nula metara prešao graničnu vrijednost dok je kod ostalih tretiranja bio niži.

4.2. Utjecaj oštećenja korijenskog sustava na formiranje sekundarnog ksilema

Na temelju dobivenih fotografija trajnih histoloških preparata mjereni su i analizirani lumeni traheja kao osnovni provodni element u tkivu ksilema. Mjereni su promjeri lumena traheja, površine lumena traheja i površinski udjeli lumena traheja goda tekuće vegetacijske godine. Nadalje, mjerene su i uspoređivane širine proizvedenog ksilema prvog dana uzorkovanja i zadnjeg dana uzorkovanja. Kao dodatni parametar praćen je broj stanica kambija.

Tablica 20. Deskriptivna statistika udjela lumena traheja

Anatomsko svojstvo	dan u godini	srednja vrijednost	standardna devijacija	tretman
		(μm)		
udio lumena traheja	90	186515850	50287124	tretiranje na nula metara (0m)
	104	167338690	83436111	
	118	154156935	134774322	
	132	119491479	103976261	
	146	192604839	55042673	
	160	161053113	45877149	
	174	51466738	89143005	
	188	64614025	111914774	
	90	145985646	58861953	tretiranje na jedan metar (1m)
	104	184.919.507	10551592	
	118	119.722.534	111649721	
	132	182.921.773	57174131	
	146	74963002,3	86684460	
	160	147760140	134682184	
	174	157082696	137179961	
	188	157017167	137933190	
	90	102781978	90467977	tretiranje na dva metra (2m)
	104	207599764	93023693	
	118	135445292	30731849	
	132	213758769	74098804	
	146	76093027,3	131796989	
	160	206706805	179439994	
	174	136301177	126379032	
	188	192879179	172472761	
	90	198730500	88563471	kontrola
	104	137654442	121060021	
	118	140428704	129625629	
	132	179608449	37720380	
146	181690349	164740072		
160	205444720,7	51209376		
174	216908092	41376830		
188	206001417	68238961		

Analizom varijanci ponovljenih mjerenja nije utvrđena statistički značajna razlika udjela, promjera i površina lumena traheja i tretiranja (Tablica 21, 22 i 23).

Tablica 21. Analiza varijanci ponovljenih mjerenja udjela lumena traheja

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance (Spreadsheet25) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	81648330	1	81648330	165,0224	0,000001
tretman	738722	3	246241	0,4977	0,694064
Error	3958170	8	494771		
DAN	2322538	7	331791	1,4110	0,219246
DAN*tretman	4098962	21	195189	0,8301	0,673120
Error	13168315	56	235148		

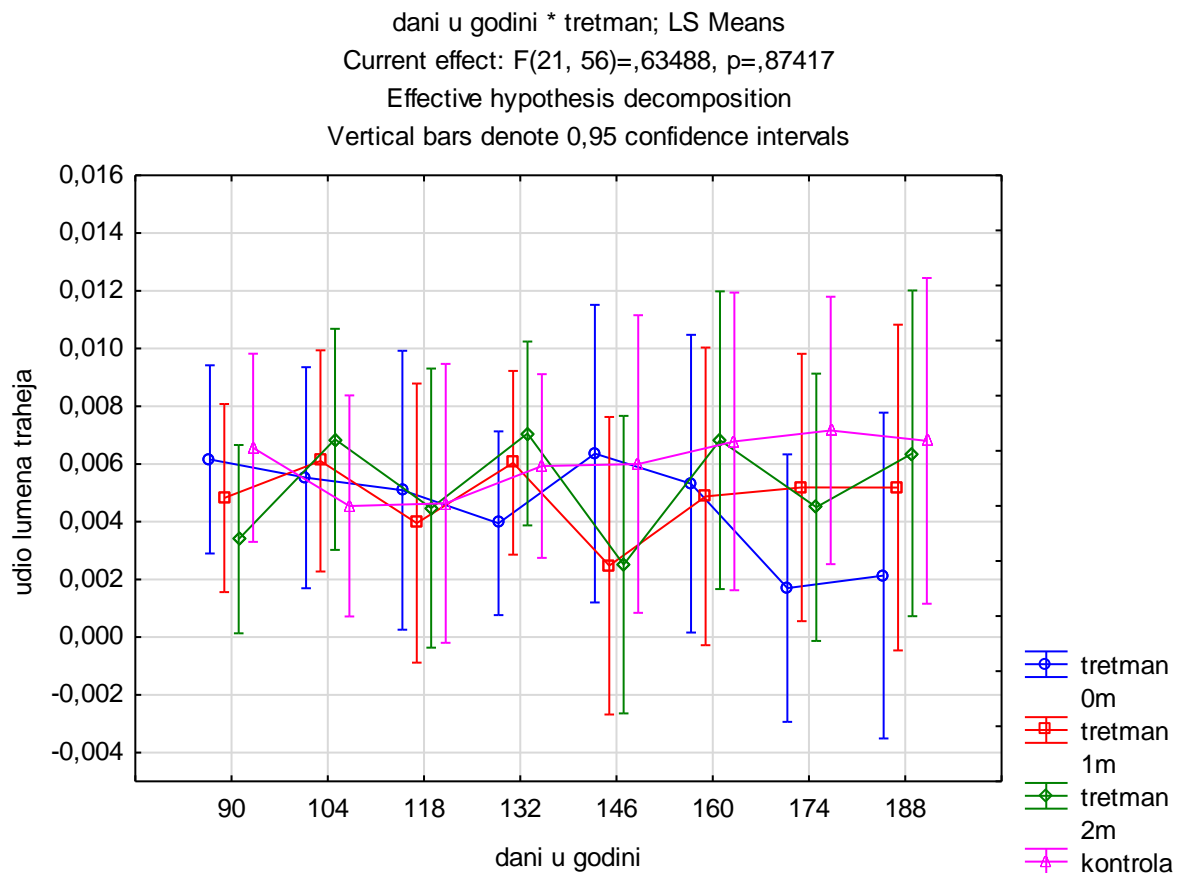
Tablica 22. Analiza varijanci ponovljenih mjerenja promjera lumena traheja

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance (Spreadsheet48) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4,095481E+12	1	4,095481E+12	196,0344	0,000001
tretman	5,266588E+10	3	1,755529E+10	0,8403	0,508979
Error	1,671332E+11	8	2,089165E+10		
DAN	7,457444E+10	7	1,065349E+10	0,7442	0,635676
DAN*tretman	1,730095E+11	21	8,238547E+09	0,5755	0,918278
Error	8,016418E+11	56	1,431503E+10		

Tablica 23. Analiza varijanci ponovljenih mjerenja površina lumena traheja

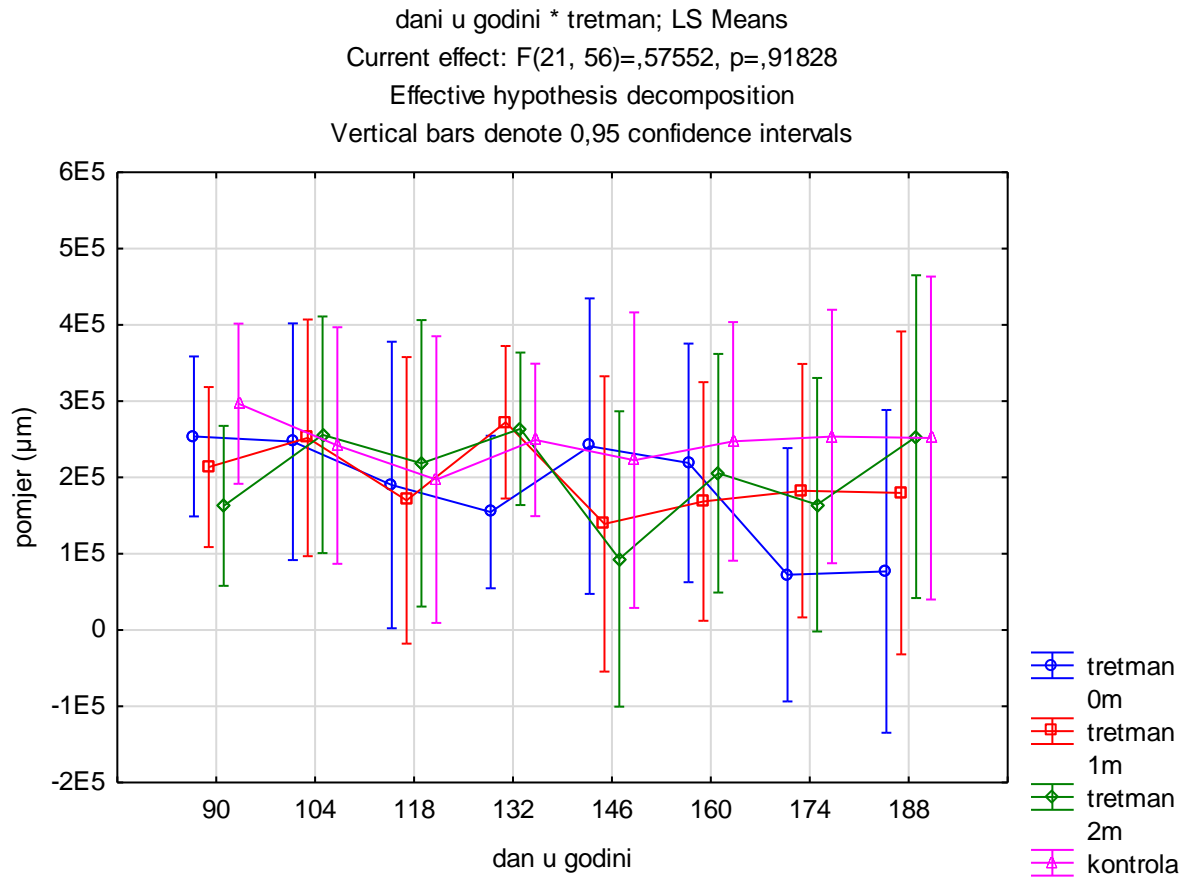
Effect	Repeated Measures Analysis of Variance (Spreadsheet7) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,061471E+17	1	1,061471E+17	186,2171	0,000001
tretman	2,479426E+15	3	8,264752E+14	1,4499	0,299101
Error	4,560145E+15	8	5,700181E+14		
POVRSINA	1,673879E+15	7	2,391256E+14	0,5674	0,779127
POVRSINA*tretman	5,471503E+15	21	2,605478E+14	0,6183	0,887541
Error	2,359923E+16	56	4,214149E+14		

Grafički prikaz 5. Analiza varijanci ponovljenih mjerenja za površinski udio lumena traheja



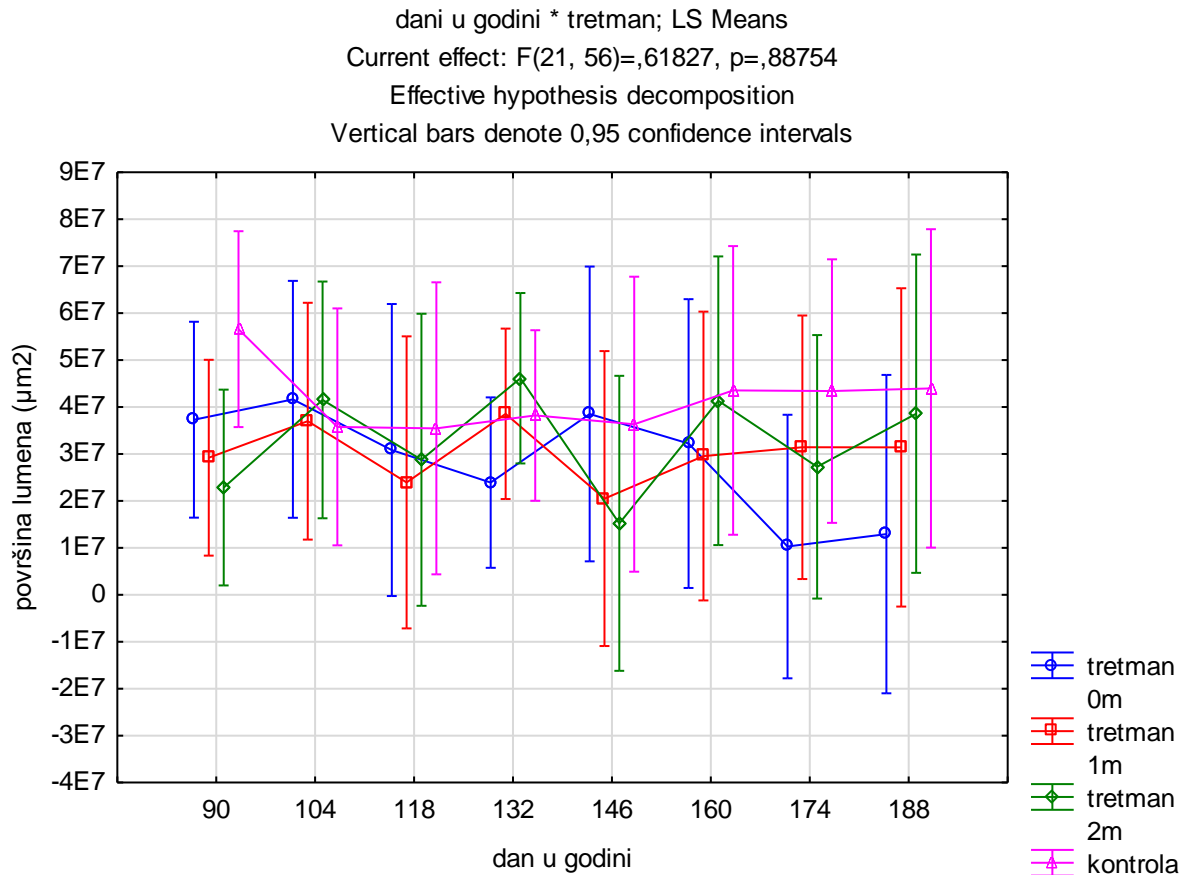
Analizom varijanci ponovljenih mjerenja nije utvrđena statistički značajna razlika u udjelima lumena traheja. Iz grafičkog prikaza 5. vidljivo je da tretmani iskopa na nula, jedan i dva metra udaljenosti od debla nisu statistički značajno utjecali na udio lumena traheja kroz cijeli periodo uzorkovanja od 90-og do 188-og dana u godini. Udjeli lumena traheja kod tretiranih stabala statistički se značajno ne razlikuju od udjela lumena kontrolnih stabala.

Grafički prikaz 6. Analiza varijanci ponovljenih mjerenja za promjer lumena traheja



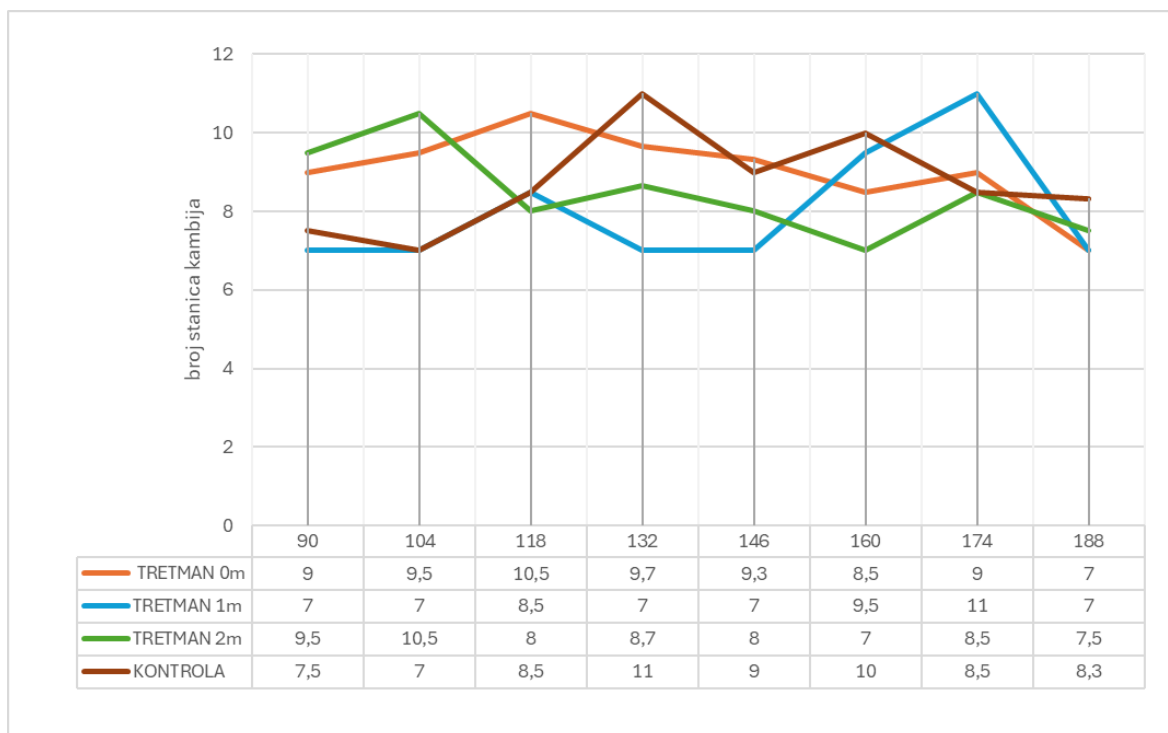
Analizom varijanci ponovljenih mjerenja nije utvrđena statistički značajna razlika u promjerima lumena traheja. Iz grafičkog prikaza 6. vidljivo je da tretmani iskopa na nula, jedan i dva metra udaljenosti od debla nisu statistički značajno utjecali na udio lumena traheja kroz cijeli periodu uzorkovanja od 90-og do 188-og dana u godini. Promjeri lumena traheja kod tretiranih stabala statistički se značajno ne razlikuju od promjera lumena kontrolnih stabala.

Grafički prikaz 7. Analiza varijanci ponovljenih mjerenja za površinu lumena traheja



Analizom varijanci ponovljenih mjerenja nije utvrđena statistički značajna razlika u površinama lumena traheja unutar grupa tretiranja, ali je između pojedinih stabala LSD Post-Hoc testom utvrđena statistički značajna razlika. Iz grafičkog prikaza 7. vidljivo je da tretmani iskopa na nula, jedan i dva metra udaljenosti od debla nisu statistički značajno utjecali na udio lumena traheja kroz cijeli periodu uzorkovanja od 90-og do 188-og dana u godini. Promjeri lumena traheja kod tretiranih stabala statistički se značajno ne razlikuju od promjera lumena kontrolnih stabala. Postoji statistički značajna razlika u površinama lumena traheja između 132-og dana kod stabala tretiranih na dva metra i 174-og dana kod stabala tretiranih na nula metara. Nadalje, postoji statistički značajna razlika između 90-og dana kod kontrolnih stabala i 174-og dana kod stabala tretiranih na nula metara kao i 146-og dana kod stabala tretiranih na jedan metar.

Grafički prikaz 8. Broj stanica kambija u vremenskom periodu od 90 do 188 dana u godini



Na temelju fotografija histoloških preparata kao dodatni parametar praćen je broj stanica kambija kroz razdoblje od 90 do 188 dana u godini. Dobiveni rezultati prikazani u Grafičkom prikazu 8. dobiveni su na temelju onih histoloških preparata na kojima su stanice kambija jasno vidljive te nije došlo do njihovog pucanja ili oštećenja. Zbog toga, dio preparata nije uzet u razmatranje te se dobiveni podatci ne mogu detaljnije interpretirati. Na temelju Grafičkog prikaza 8. vidljivo je da je 90 dana u godini kambij bio aktivan te da je najveći broj stanica kambija zabilježen kroz svibanj i lipanj.

5. RASPRAVA

Cilj ovog diplomskoga rada bio je utvrditi učinke oštećivanja korijenskog sustava na stabilnost stabla i formiranje sekundarnog ksilema kod urbanih stabala hrasta kitnjaka. Oštećivanja su simulirala iskope koji se prakticiraju u gradovima i drugim urbaniziranim područjima za potrebe postavljanja ili zamjene podzemne infrastrukture. Definirana su tri stupnja tretiranja s različitim udaljenostima iskopa od debla. Prema podacima međunarodne ITFD baze iz 2013. (eng. Internacional tree failure database) 35% grešaka stabala povezano je s korijenskim sustavom. Takve greške na korijenu mogu biti uzrokovane pojavom truleži, oštećenjima, orezivanjem i/ili presijecanjem korijena. Matheny i Clark (2010), povezuju takva oštećenja korijena sa smanjenjem stabilnosti i vitalnosti stabala. Watson (1998) je zaključio da gubitak korijena uzrokuje smanjenje rasta, odumiranje i stres. Dosadašnjim istraživanjima nisu jasno istraženi i definirani intenziteti uklanjanja korijena koji će za posljedicu imati odumiranje stabala (Mattheck i Breloer 1994; Smiley i Fraedrich 2002). Na temelju navedenoga, postoji potreba za dodatnim istraživanjima s ciljem utvrđivanja stupnja gubitka korijena kojega stablo može tolerirati i koje neće značajno utjecati na stabilnost i rast stabala.

5.1. Utjecaj oštećenja korijenskog sustava na stabilnost

Praksa u kojoj se potiče zadržavanje stabala tijekom građevinskih radova ima mnoge koristi za urbani okoliš i ljude. Osviještenost svih sudionika u prostornom planiranju i održavanju postojeće infrastrukture u gradu osigurava prevenciju i time štiti sva urbana stabla. Očuvanje stabala osigurava očuvanje ekoloških i socijalnih kao i estetskih funkcija koje stabla pružaju u gradskim područjima te time pridonose boljem i kvalitetnijem životu ljudi.

Brojna istraživanja bavila su se reakcijom stabla na oštećenja korijenskog sustava pa je tako Pittel i dr. (1990) proveli su istraživanje u kojemu je oštećivan korijenski sustav zbog zamjene pločnika. Tijekom petogodišnjeg razdoblja radovi zamjene pločnika zahvatili su preko 1000 stabala. Istraživanjem je utvrđeno da je 15% do 20% stabala odumrlo, dok se 1% stabala izvalilo. Sličnim je istraživanjem Majeskie (1993) pratio posljedice nakon uređenja rubnjaka i pločnika na jednoj lokaciji drvorednih stabala. Radovima je nanijeta šteta na korijenske sustave stabala javora, brijesta i jasena. Istraživanje je utvrdilo mnogobrojne izvale oštećenih stabala kroz duži vremenski period nakon radova.

U dosadašnjim istraživanjima razlike u pristupima i metodologijama očituju se, osim s obzirom na vrstu stabla i dob, i prema načinu oštećivanja korijena. Neki tipovi oštećivanja su linearni iskopi nalik rovu s jedne, s dvije ili tri strane stabla, iskopi u obliku slova „U“ i sl. U nekim istraživanjima oštećenja su se bazirala na usmjerenom orezivanju korijena različitim intenzitetom. U ovom diplomskom radu oštećenja korijenskog sustava izvodila su se kao iskopi linearnog oblika s jedne strane debla. Smiley (2008) u svojem istraživanju uspoređuje različite tretmane i njihov utjecaj pa tako utvrđuje kako linearni iskopi imaju značajniju korelaciju sa silom povlačenja od korelacije orezivanja pojedinačnih dijelova korijena i sile potezanja. S gledišta stabilnosti opasnost od izvale postojat će sve dok ponovni rast korijenja ne uspostavi izgubljenu stabilnost. Međutim, mogu postojati ograničenja u prostoru za ponovni rast korijenja

zbog postavljanja nove podzemne infrastrukture, betonskih i drugih prepreka (Wargo, 1983). U takvim slučajevima opasnost od izvale zbog narušene stabilnosti poprima trajni karakter.

Dob stabla i vrsta također su važne osobine stabla. Smiley (2008) provodio ispitivanja na mladim stablima vrste vrbolikog hrasta (*Quercus phellos*), Benson je istraživanje provodio na vrsti hrasta (*Quercus virginiana*) i dvije vrste javora, dok su Stokes i Mattheck odabrali zrela stabla većeg broja vrsta golosjemenjača i kritosjemenjača: *Picea abies*, *Larix decidua*, *Pinus sylvestris*, *Fraxinus excelsior*, *Castanea sativa*, *opulus nigra* i *Fagus sylvatica*. Na temelju navedene literature nisu pronađena istraživanja koja su ispitala utjecaj oštećenja korijena za vrstu hrasta kitnjaka. Istraživanje na vrsti zrelih stabala crvenoga javora, gdje su se tretmani definirali kao udjeli uklonjenog korijena, pokazalo je da je utjecaj orezivanja korijena bio visoko varijabilan. Za većinu stabala uklanjanje 10% do 16% korijena imalo je mali učinak na stabilnost stabla što je dovelo do reduciranja sile povlačenja za 13% (Benson et al., 2019). Istraživanje provedeno na vrsti vrbolikog hrasta također je utvrdilo da su učinci orezivanja pojedinačnih korijena na stabilnost stabla vrlo varijabilni. Nadalje, orezivanje 10% do 15% korijena može imati mali utjecaj na stabilnost stabla. Kada se orezalo 30% korijena, sila potrebna za izvalu smanjila se za otprilike 20%, a kod nekih stabala i do 30%. Kada je 50% korijena orezano, sila se u prosjeku smanjivala za jednu trećinu (Smiley, 2008). Smiley je također utvrdio kako linearno orezivanje korijena nije uzrokovalo značajno smanjenje sile potrebne za pomicanje debla za 1° sve dok rezovi nisu bili bliže od trostrukog promjera debla. Na dvostrukom promjeru debla, sila je smanjena za 15%. Na udaljenosti od debla koja je jednaka promjeru debla, sila je smanjena za približno 23%, a kod tangencijalnog orezivanja na deblo, sila je smanjena za 35%.

S obzirom na učestalost oštećivanja korijenskog sustava u urbanim sredinama zbog građevinskih radova u neposrednoj blizini stabla očuvanje urbanih stabala mora biti integrirano u cjelokupni proces kako bi se osiguralo da stabla budu zaštićena od oštećenja tijekom izgradnje, ali i nakon nje. Pozitivni primjeri integriranja mjera zaštite stabala pri građevinskim radovima prisutni su u Sjedinjenim Američkim Državama, Češkoj, Velikog Britaniji, i drugim zemljama. Smjernice drugih zemalja vezane uz zaštitu stabala pri građevinskim radovima definiraju zonu zaštite kao osnovni model prevencije oštećenja korijenskog sustava. U češkim standardima definirane su tri klase stabala prema njihovoj važnosti i općem stanju (A, B i C) gdje se prsni promjer množi s koeficijentom pojedine klase. Britanski standardi polumjer zone zaštite izračunavaju kao umnožak prsnog promjera stabla s 12. Kanadski standardi stabla u gradovima klasificiraju po prsnim promjerima te je za svaku klasu definirana udaljenost. Usporedimo li ove izračune za stablo prsnog promjera 30 centimetara po češkim standardima ovisno o procjeni stabla promjeri bi iznosili 3 metra kod zaštićenih i iznimno vrijednih stabala, 2,1 metar za stabla smanjenje vitalnosti i 1,5 metara za stabla koja je moguće presaditi ili su im je zdravstveno stanje iznimno loše. Nadalje, prema kanadskim standardima stablo promjera 30 centimetara spadalo bi u klasu za koju promjer zaštite iznosi 2,4 metra. Britanski standardi bi za stablo od 30 centimetara prsnoga promjera odredili zonu zaštite promjera 3,6 metara. Metode određivanja promjera zone zaštite se međusobno razlikuju iako svi standardi kao osnovu za izračun uzimaju prsni promjer kao osnovnu vrijednost na temelju koje se radijus zone zaštite prilagođava pojedinom stablu što u praksi doprinosi boljoj zaštiti. Primjer uspješne prakse

očuvanja stabala tijekom izgradnje primjenom preporučenih mjera analizirao je Gilbert (1996) koji je ispitivao preživljavanje stabala na gradilištima u sjevernoj Engleskoj u vremenskom periodu od 30 godina. Tijekom 1970-ih, kada je stav prema očuvanju i zaštiti stabala na gradilištima bio loš, a zaštita slaba nije se primjenjivala, stope mortaliteta za stabla, nakon dvije godine od završetka izgradnje varirao je od 20% do preko 60%. S protekom vremena dolazi do pozitivnih pomaka u zaštiti i očuvanju stabala tako da je u 1980-ima ta je brojka pala na 20-30%, a do ranih 1990-ih, stope mortaliteta stabala su bile su oko 10%. Na razini Republike Hrvatske ne postoje standardi ili smjernice kojima bi se štitila stabla tijekom izvođenja građevinskih radova kao što je to praksa u drugim zemljama. Pravni dokument kojim se štite stabla kod izgradnje, na lokalnoj razini, postoji u Zagrebu kroz Odluku o komunalnom redu. U tome se dokumentu člankom 94. daje općenita smjernica kako se korijenski sustav mora zaštititi opreznim radom oko korijena. Člankom 95. istog dokumenta zabranjeno je postavljanje podzemne infrastrukture na udaljenosti manjoj od dva metra te presijecanje korijenja debljeg od 3 centimetra promjena.

Istraživanjem za potrebe ovoga diplomskoga rada također je utvrđena varijabilnosti utjecaja oštećenja korijenskog sustava na stabilnost kod vrste zrelih stabala hrasta kitnjaka, što su utvrdili i drugi autori na drugim vrstama. Nadalje, utvrđeno je da postoje statistički značajne promjene u stabilnosti stabala nakon iskopa kojima je dio korijenskog sustava oštećen i uklonjen. Statistički značajne negativne razlike u nagibu žilišta pri potezanju prije i nakon tretiranja su utvrđena kod stabala koja su oštećena na nula metara od debla. Na temelju statistički značajnih razlika nagiba žilišta pri $0,2^\circ$ prije i nakon tretiranja potvrđena je pretpostavka da su takva oštećenja negativno utjecala na stabilnost tretiranih stabala. Kod iskopa na jedan i dva metra nisu utvrđene statistički značajne razlike u nagibu žilišta pri $0,2^\circ$ prije i nakon oštećenja na temelju čega se može zaključiti da su na tim udaljenostima oštećenja korijena bila nedovoljna te nisu utjecala negativno na stabilnost tretiranih stabala. LSD Post-Hoc testom utvrđena je i statistički značajna razlika između nagiba žilišta pri $0,2^\circ$ kod stabala tretiranih na nula metara i stabala tretiranih na jedan metar, dva metra kao i kod kontrolnih stabala. Na temelju svega navedenog može se zaključiti kako udaljenosti na kojoj se provode iskopi imaju značajnu ulogu za stabilnost stabla.

Uzevši u obzir dosadašnja saznanja i rezultate ovoga istraživanja nije moguće definirati opće pravilo o maksimalnom postotku korijena koji se može ukloniti, a da pri tome ne dođe do negativne promjene stabilnosti stabla, osim u slučaju da se iskop provodi neposredno uz deblo. To ne pobija činjenicu da iskopi u neposrednoj blizini stabla koji zahvaćaju kritičnu zonu korijena povećavaju rizik od izvale, smanjenog vitaliteta ili dugoročno potpunog propadanja stabla. Dobiveni rezultati na temelju kojih iskopi na jedan i dva metara od debla nisu značajno utjecali na smanjenje stabilnosti stabala donekle objašnjava primjere u kojima stabala izložena takvim iskopima ipak prežive. S druge strane Hamilton (1998) naglašava kako vrste drveća također igraju vrlo važnu ulogu kada se iskopi rade u neposrednoj blizini stabla jer mnoge vrste ne mogu tolerirati takva oštećenja. Iako su ova nedavna istraživanja provedena samo na jednoj vrsti, informacije su vrijedne i pridodaju ograničenom broju primijenjenih istraživanja u ovom području. Ova otkrića mogu biti od koristi stručnjacima koji se svakodnevno bave zaštitom stabla tijekom izvođenja građevinskih radova. Kako bi se postigao optimalni standard brige o

drveću, korisno je imati standarde kojim bi se definirala zona zaštite (određena promjerom stabla ili nekim drugim čimbenikom). To također ne umanjuje generalnu pretpostavku prema kojoj bi tijekom izvođenja građevinskih radova trebalo smanjiti gubitak korijena na što je što je moguće manju mjeru. Kako urbani okoliš ima brojne prepreke i elemente koji utječu na rasprostiranje korijenskog sustava stabala buduća istraživanja bi trebala dati odgovore na pitanja o kontekstu ukupne površine korijenskog sustava i stvarno zahvaćenog (oštećenog) dijela korijena.

5.2. Utjecaj oštećenja korijenskog sustava na formiranje sekundarnog ksilema

U literaturi ne postoje istraživanja koja su obradila tematiku utjecaj oštećenja u zoni korijenskog sustava stabala na anatomsku građu drva, odnosno na proizvodnju sekundarnog ksilema (drva). Iz tog razloga, istraživanje utjecaja oštećenja korijenskog sustava na proizvodnju sekundarnog ksilema hrasta kitnjaka preliminarnog je karaktera. Tome zasigurno doprinosi i kratkoročni period u kojem je istraživanje provedeno te ograničeni broj parametara koji su kvantitativno analizirani u ovom diplomskom radu.

U ovome istraživanju mjereni su i analizirani lumeni traheja, njihove površine, površinski udjeli i promjeri. Također, praćen je broj kambijalnih stanica u periodu od 31.3. do 7.7. 2023. godine.

Prema našim saznanjima, utjecaj oštećivanja korijenskog sustava na formiranje sekundarnog ksilema do sada nije ispitivan na hrastu kitnjaku, ali ni na drugim vrstama stabala. Na temelju dobivenih rezultata ovim istraživanjem nisu utvrđene statistički značajne razlike kod udjela, površina i promjera lumena traheja. S druge strane, brojna istraživanja utvrdila su značajan utjecaj na smanjenje prirasta. Uzevši to u obzir, rezultati ovoga istraživanja pokazatelj su da stabla imaju sposobnost prilagodbe na oštećenja korijenskog sustava te da iako je došlo do smanjenja stabilnosti stabla su uspjela osigurati nesmetano kolanje vode kroz traheje te time nije kompromitirana osnovna fiziološka funkcija stabla.

Utvrđeno je da su karakteristike traheja drva hrasta bile pod značajnim utjecajem sušnih perioda (Eilmann i sur. 2009). Također, smanjenje veličine traheja, a kao posljedica i smanjenje provodnje vode kroz njih, uzrokuje smanjenje njihove otpornosti na kavitaciju (Sperry, 2003.)

U dosadašnjim istraživanjima autori su isključivo analizirali utjecaj oštećenja korijenskog sustava na prirast. S obzirom da se prirast kod stabala ostvaruje formiranjem sekundarnog staničja pa tako i sekundarnog ksilema, čije se formiranje u vidu lumena traheja pratilo u ovome istraživanju, u nastavku rasprave izdvojena su istraživanja koja opisuju utjecaj oštećenja na prirast.

Rezultati istraživanja različitih autora nisu istovjetni. Sudmeyer i sur. (2002) nisu utvrdili utjecaj orezivanja stabala *Pinus pinaster* na prirast. Korijen je orezivan na udaljenosti 5 metara od debla. Relativno velika udaljenost od debla mogla je imati utjecaj na rezultate ovoga istraživanja. Druge studije (Sudmeyer i Flugge 2005) pokazale su da je orezivanje korijena s obje strane drvorednih stabala borova i eukaliptusa dovelo do smanjenog rasta od 14% do 43% posto. Jose i sur. (2000) uspoređivali su utjecaj rovovskih iskopa i prepreka na vrsti crnoga

oraha te su utvrdili da je prirast bio značajno manji kod tretiranih stabala. Miller i Pallardy (2001) utvrdio je smanjeni prirast vrste *Acer saccharinum* L. nakon iskopa. Neka istraživanja naglašavaju varijabilnost u odgovoru na oštećivanje korijena među vrstama i zaključuju da je rast promjera debla usporen kratkoročno, odmah nakon iskopa, ali dugoročno se značajno ne smanjuje (Pretzsch i sur., 2016).

S obzirom da se utjecaj oštećenja korijenskog sustava na formiranje sekundarnog kislema u vidu lumena traheja nije istraživao te da ne postoje podatci s kojima bi se ovo istraživanje moglo uspoređivati, istraživanje za potrebe ovoga diplomskoga rada moglo bi biti preliminarno za buduća istraživanja.

6. ZAKLJUČCI

Istraživanje utjecaja oštećivanja i uklanjanja korijenskog sustava provedeno je 12 zrelih urbanih stabala hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) u park šumi Dotrščina u Zagrebu tijekom jedne kalendarske godine. Pri tome je utvrđeno da:

- ✓ Oštećenje i uklanjanje korijenskog sustava je dovelo do promjena u stabilnosti istraživanih stabala.
- ✓ S obzirom na različite udaljenosti iskopa, stabala kojima je korijen oštećen na nula metara udaljenosti od debla imaju statistički značajno manju stabilnost nakon ponovljenog poteznog testa u odnosu na stabla kod kojih su tretiranja iskopa korijena napravljena na jedan i dva metra udaljenosti.
- ✓ S obzirom na anatomske značajke istraživanih stabala tijekom jedne kalendarske godine, oštećenja i uklanjanja korijenskog sustava različitog intenziteta nije utjecalo na formiranje sekundarnog ksilema.
- ✓ Istraživanjem nisu utvrđene statistički značajne razlike u površinskim udjelima, promjerima i površinama lumena traheja kod stabala na kojima su provedeni različiti tretmani oštećivanja korijenskog sustava u odnosu na neoštećena stabla.

7. Literatura

1. Anić, I., M. Oršanić, 2010: Morfološka i šumskouzgojna obilježja park-šuma grada Zagreba. U: Matić, S., I., Anić (ur.), Park-šume grada Zagreba, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, 135–158.
2. Balzano, A., Čufar, K., Krže, L., & Merela, M. (2022). Critical steps and troubleshooting in sample preparation for wood and phloem formation: from sampling to microscopic observation: Kritični koraci in reševanje težav pri pripravi vzorcev za spremljanje nastajanja lesa in floema: od vzorčenja do opazovanja pod mikroskopom. *Les/Wood*, 71(1), 47-56.
3. Benson, A. R., Koeser, A. K., & Morgenroth, J. (2019). Responses of mature roadside trees to root severance treatments. *Urban forestry & urban greening*, 46, 126448.
4. Brudi, E., & van Wassenae, P. (2002, October). Trees and statics: nondestructive failure analysis. In *Tree structure and mechanics conference proceedings: How trees stand up and fall down* (pp. 53-69). ISA Champaign, IL.
5. Budisavljević, A., 2017: Budisavljević, A., Terlević, A., Mihelić, P., Špadina, B., Papković, D., Nikolić, T., Šegota, V. (2017): Vaskularna flora šume Dotrščina (Zagreb, Hrvatska). *Glas. Hrvat. bot. društ.* 5(1): 4-19.
6. Carey, M., 2020. Chapter 7. Tree Protection During Construction, City of Tacoma, Washington. United States of America. Retrieved from <https://policycommons.net/artifacts/3334801/tpdc-71-tpa/4133650/> on 13 Apr 2024. CID: 20.500.12592/334cd9.
7. Clark, J. R., & Matheny, N. (2010). The research foundation to tree pruning: A review of the literature. *Arboriculture & Urban Forestry*, 36(3), 110-120.
8. Coder, K.D., 1996, Construction damage assessments: trees and sites. University of Georgia. Cooperative extension service forest resources unit FOR96-39: Georgia, USA.
9. Eilmann, B.; Zweifel, R.; Buchmann, N.; Fonti, P.; Rigling, A. Drought-induced adaptation of the xylem in Scots pine and pubescent oak. *Tree Physiol.* 2009, 29, 1011–1020.
10. Feuillat, F., Duponey, J.-L., Sciama, D., Keller, R. (1997). A new attempt at discrimination between *Quercus petraea* and *Quercus robur* based on wood anatomy. *Can. J. For. Res.* 27, 343-351.
11. Fini, Alessio & Ferrini, Francesco & Piero, Frangi & Riccardo, Piatti & Amoroso, Gabriele. (2013). Effect of root severance by excavation on growth, physiology and uprooting resistance of two urban tree species. *Acta horticulturae.* 990. 487-494. 10.17660/ActaHortic.2013.990.63.
12. Graves, D., & Leavitt, M. (1991). Petroleum biodegradation in soil: the effect of direct application of surfactants. *Remediation Journal*, 1(2), 147-166.
13. Hamilton, W.D., 1988. Significance of root severance on performance of established trees. *Journal of Arboriculture* 13(3): 288-292.
14. Helms, J. A. (1998). *The dictionary of forestry*. Bethesda, MD: Society of American Foresters.

15. Jim, C. Y. (2003). Protection of urban trees from trenching damage in compact city environments. *Cities*, 20(2), 87-94.
16. Jim, C. Y. (2017). Constraints to urban trees and their remedies in the built environment. In F. Ferrini, C. C. K. van den Bosch, & A. Fini (Eds.), *Routledge handbook of urban forestry* (pp. 273-290). London: Routledge.
17. Jim, C. Y., & Zhang, H. (2013). Species diversity and spatial differentiation of old-valuable trees in urban Hong Kong. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(2), 171-182.
18. Jose, S., Gillespie, A. R., Seifert, J. R., & Biehle, D. J. (2000). Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA: 2. Competition for water. *Agroforestry systems*, 48, 41-59.
19. Konijnendijk, Cecil & Randrup, Thomas. (2004). Urban Forestry. [https://www.researchgate.net/publication/280562809 Urban Forestry/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/280562809_Urban_Forestry/citation/download)
20. Konijnendijk, Cecil & Ricard, Robert & Kenney, Andy & Randrup, Thomas. (2006). Defining urban forestry-A comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening*. 4. 93-103. 10.1016/j.ufug.2005.11.003.
21. Konijnendijk, Cecil & Rodbell, Philip & Salbitano, Fabio & Sayers, Kevin & Villapardo, Sarah & Yokohari, Makoto. (2018). The Changing Governance of Urban Forests. *Unasylva*. 69. 37-42.
22. Krajter Ostoić, S., S. Posavec, D. Vuletić, M. Stevanov, 2013: Pregled literature o vrednovanju koristi od urbanih šuma. *Radovi (Hrvat. šumar. inst.)* 45 (2): 161–173.
23. O'Brien, Liz & De Vreese, Rik & Kern, M. & Sievänen, Tuija & Stojanova, Biljana & Atmiş, Erdoğan. (2017). Cultural ecosystem benefits of urban and peri-urban green infrastructure across different European countries. *Urban Forestry & Urban Greening*. 24. 10.1016/j.ufug.2017.03.002.
24. Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O., & Islas-Rodríguez, L. (2013). Relationship between carbohydrates and vitality in urban trees. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(3), 459-468.
25. Matic, S., B. Prpić, 1997: Program njege, obnove i održavanja , te ekološke i socijalne funkcije park-šuma na području grada Zagreba. *Šumarski list* 121 (5-6): 225–242.
26. Miller, A. W., & Pallardy, S. G. (2001). Resource competition across the crop-tree interface in a maize-silver maple temperate alley cropping stand in Missouri. *Agroforestry systems*, 53, 247-259.
27. Miller, R., 1997: Urban forestry: planning and management of green space. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall. 502 str.
28. Odluka o komunalnom redu Grada Zagreba, Službeni glasnik Grada Zagreba 14/2019
29. O'sullivan, M. F., & Ritchie, R. M. (1993). Tree stability in relation to cyclic loading. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 66(1), 69-82.
30. Patterson, J. C. (1977). Soil compaction—effects on urban vegetation. *Arboriculture & Urban Forestry (AUF)*, 3(9), 161-167.
31. Pernar, N., 2017: Tlo – nastanak, značajke, gospodarenje. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 799 str.

32. Pittel, B., Woyczynski, W. A., & Mann, J. A. (1990). Random tree-type partitions as a model for acyclic polymerization: Holtsmark (3/2-stable) distribution of the supercritical gel. *The Annals of Probability*, 319-341.
33. Pretzsch, H., Bauerle, T., Häberle, K.H., Matyssek, R., Schütze, G. & Rötzer, T., 2016. Tree diameter growth after root trenching in a mature mixed stand of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) and European beech (*Fagus sylvatica* [L.]). *Trees - Structure and Function* 30(5): 1761-1773, 10.1007/s00468-016-1406-5.
34. Prpić, B., 1992: Ekološka i gospodarska vrijednost šuma u Hrvatskoj. U: Đ. Rauš (ur.), Šume u Hrvatskoj, Šumarski fakultet i Hrvatske šume, Zagreb, 237–256.
35. Rossi, Sergio & Anfodillo, Tommaso & Menardi, Roberto. (2006). Trephor: A New Tool for Sampling Microcores from tree stems. *IAWA Journal*. 27. 89-97. 10.1163/22941932-90000139.
36. Seletković, Z., I. Tikvić, D. Ugarković, 2010: Stanišni uvjeti park-šuma grada Zagreba. U: Matić, S., I. Anić (ur.), Park-šume grada Zagreba, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, 39– 45.
37. Smiley, E. T., 2008: Root Pruning and Stability of Young Willow Oak. *Arboriculture & Urban Forestry* 34(2): 123–128.
38. Smiley, E.T., Holmes, L. & Fraedrich, B.R., 2014. Pruning of buttress roots and stability changes of red maple (*Acer rubrum*). *Arboriculture and Urban Forestry* 40(4): 230-236.
39. Sperry, J.S. Evolution of water transport and xylem structure. *Int. J. Plant Sci.* 2003, 164, S115–S127.
40. Stokes, A., & Mattheck, C. (1996). Variation of wood strength in tree roots. *Journal of Experimental Botany*, 47(5), 693-699.
41. Strong, W.L. & La Roi, G.H., 1983. Root-system morphology of common boreal forest trees in Alberta, Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 13(6): 1164-1173
42. Sudmeyer, R., & Flugge, F. (2005). The economics of managing tree–crop competition in windbreak and alley systems. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45(11), 1403-1414.
43. Sudmeyer, R.A., Speijers, J. & Nicholas, B.D., 2004. Root distribution of *Pinus pinaster*, *P. radiata*, *Eucalyptus globulus* and *E. kochii* and associated soil chemistry in agricultural land adjacent to tree lines. *Tree Physiology* 24(12): 1333-1346.
44. Tyrväinen, L. (1999). *Monetary valuation of urban forest amenities in Finland*. Metsäntutkimuslaitos.
- Viswanathan, B., Volder, A., Watson, W. T., & Aitkenhead-Peterson, J. A. (2011). Impervious and pervious pavements increase soil CO₂ concentrations and reduce root production of American sweetgum (*Liquidambar styraciflua*). *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(2), 133-139.
45. Wagenführ, R., Scheiber, C. (2006). *HOLZATLAS*. VEB Fchbuchverlag, Leipzig, pp. 255- 256.

46. Watson, G.W., 1998. Tree growth after trenching and compensatory crown pruning. *Journal of Arboriculture* 24(1): 47-53.
47. Wessolly, L., M. Erb, 2014: *Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle*. Patzer Verlag, Berlin, 288 str.