



UNIVERZITET U NOVOM SADU



Anatomska karakterizacija vegetativnih organa vrba (*Salix* spp.) u cilju selekcije genotipova u fitoremedijaciji

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:
Prof. dr Jadranka Luković

Kandidat:
Zorana Hrkić Ilić, master biolog

Novi Sad, 2023.

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА¹

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Зорана Хркић Илић, мастер болог
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција)	др Јадранка Луковић, редовни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду
Наслов рада:	Анатомска карактеризација вегетативних органа врба (<i>Salix</i> spp.) у циљу селекције генотипова у фиторемедијацији
Језик публикације (писмо):	Српски (латиница)
Физички опис рада:	Унети број: Страница: 298 Поглавља: 9 Референци: 548 Табела: 34 Слика: 56 Прилога: 91 табела, 35 слика
Научна област:	Биологија
Ужа научна област (научна дисциплина):	Ботаника
Кључне речи / предметна одредница:	<i>Salix</i> , клон, кадмијум, лимунска киселина, анатомија, стереологија, дендроремедијација
Резиме на језику рада:	Врбе (<i>Salix</i> spp.) имају значајну улогу у фиторемедијацији потенцијално токсичних елемената и органских полутаната. Подаци о анатомским и хидрауличким особинама вегетативних органа врба под утицајем Cd су малобројни или уопште нису доступни. Да би се идентификовали генотипови врба који имају висок потенцијал примјене у пројектима фито(дендро)ремедијације кадмијума, три клона <i>Salix alba</i> L. клон 'B-44', <i>Salix viminalis</i> L. клон 'SV068' и <i>Salix matsudana</i> Koidz. клон 'SM4041' гајена су методом земљишних култура у присуству кадмијума са или без додатка лимунске киселине. Анатомском анализом су утврђене генотипске специфичности у параметрима вегетативних органа, хидрауличној теоријској проводљивости ксилема коријена, резнице и избојка и отпорности на кавитацију и емболизам. Дефинисане су интергенотипске варијабилности квантитативних карактера надземних и подземних сегмената резница, адвентивних коријенова, избојака и лиски одабраних клонова врба, које имају значај у потпунијем познавању анатомске грађе врста из рода <i>Salix</i> . Стереолошка анализа пружила је нове, до сада непознате податке о волуменским густинама избојака врба.

¹ Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије и о личним подацима;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају на факултету у штампаном и електронском облику и не кориче се са тезом.

	<p>Анатомском анализом вегетативних органа клонова врба извршеном у три фазе током раста биљака, утврђено је постојање интергенотипских разлика на анатомском плану у зависности од реакција на третмане Cd и Cd у присуству лимунске киселине и дужине трајања третмана, тј. фазе узорковања. Запажене варијације квантитативних параметара вегетативних органа могу бити полазна тачка у програмима селекције генотипова врба који се гаје и истражују за различите примјене, укључујући селекцију генотипова са побољшаним нивоом раста, адаптабилности и отпорности на факторе стреса, укључујући повећане концентрације потенцијално токсичних елемената у земљишту, води и ваздуху. На основу добијених података карактеристике трахеја и хидрауличке особине ксилема су идентификовани као анатомских параметри повезани са механизмима толеранције, акумулације и транслокације елемената у вегетативним органима врба и имају улогу својеврсног водича у продукцији и селекцији генотипова најпогоднијих за фитоекстракцију и фитостабилизацију. Резултати ове дисертације показују да се међу анализираним генотиповима врба, клон 'В-44' истиче као генотип са својствима пожељним за фитостабилизацију, а клонови 'SV068' и 'SM4041' за фитоекстракцију кадмијума. Додавање лимунске киселине земљишту контаминираниог Cd може се сматрати пожељном и одговарајућом мјером дендроремедијације, која доприноси повећању усвајања и акумулације Cd у вегетативним органима одабраних клонова врбе, а самим тим и ефикаснијем уклањању Cd из загађеног земљишта.</p>
<p>Датум прихватања теме од стране надлежног већа:</p>	<p>21. 4. 2022.</p>
<p>Датум одбране: (Попуњава одговарајућа служба)</p>	
<p>Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)</p>	<p>Предсједник: др Лана Зорић, редовни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду Члан (ментор): др Јадранка Луковић, редовни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду Члан: др Милан Боришев, редовни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду Члан: др Андреј Пилиповић, виши научни сарадник, Институт за низијско шумарство и животну средину, Универзитет у Новом Саду</p>
<p>Напомена:</p>	<p>нема напомене</p>

KEY WORD DOCUMENTATION²

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Zorana Hrkić Ilić, MSc
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	Prof. Jadranka Luković, PhD, full professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad
Thesis title:	Anatomical characterization of the willow (<i>Salix</i> spp.) vegetative organs for selection of genotypes in the phytoremediation
Language of text (script):	Serbian language (latin script)
Physical description:	Number of: Pages: 291 Chapters: 9 References: 534 Tables: 34 Illustrations: 56 Appendices: 91 tables, 35 illustrations
Scientific field:	Biology
Scientific subfield (scientific discipline):	Botany
Subject, Key words:	<i>Salix</i> , clone, cadmium, citric acid, anatomy, stereology, dendroremediation
Abstract in English language:	Willows (<i>Salix</i> spp.) have a significant role in the phytoremediation of potentially toxic elements and organic pollutants. Data on the anatomical and hydraulic properties of the vegetative organs of willows under the influence of Cd are few or not available at all. To identify willow genotypes that have a high potential for application in cadmium phyto(dendro)remediation projects, three clones, <i>Salix alba</i> L. clone 'B-44', <i>Salix viminalis</i> L. clone 'SV068' and <i>Salix matsudana</i> Koidz. clone 'SM4041' were cultivated by the method of soil culture in the presence of cadmium with or without the addition of citric acid. Anatomical analysis determined genotypic specificities in the parameters of vegetative organs, hydraulic theoretical conductivity of the xylem of root, cutting and shoot and resistance to cavitation and embolism. Intergenotypic variability of quantitative characters of aboveground and underground segments of cuttings, adventitious roots, shoots and leaves of selected willow clones are defined, which have significance in a more complete knowledge of the anatomical structure of species from the genus <i>Salix</i> . Stereological analysis provided new, so far unknown data on the volume densities of willow shoots. By the anatomical analysis of the vegetative organs of willow clones carried out in three phases during plant growth, intergenotypic differences on the anatomical plane are found, depending on reactions to treatments with Cd and

² The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:

56 – Statement on the authority,

5B – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,

5r – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at the faculty and are not included into the printed thesis.

	<p>Cd in the presence of citric acid and the duration of treatments, i.e. sampling phases. Determined variations of the quantitative parameters of vegetative organs may be the starting point in the programs of the selection of willow genotypes that are grown and investigated for a variety of applications, including genotype selection with improved levels of growth, adaptability, and resistance to stress factors, including increased concentrations of potentially toxic elements in soil, water and air. Based on the obtained data, vessels characteristics and hydraulic properties of the xylem are identified as the anatomical parameters associated with the mechanisms of tolerance, accumulation and translocation of elements in the vegetative organs of willows and have the guiding role in the production and selection of genotypes most suitable for phytoextraction and phytostabilization. The results of this dissertation show that among the analyzed willow genotypes, clone 'B-44' stands out as a genotype with properties desirable for phytostabilization, and clones 'SV068' and 'SM4041' for cadmium phytoextraction. The addition of citric acid to the soil contaminated with Cd can be considered a desirable and appropriate measure of dendroremediation, which contributes to an increased adoption and accumulation of Cd in the vegetative organs of selected willow clones, and therefore more effective removal of Cd from polluted soil.</p>
Accepted on Scientific Board on:	21 th April 2022
Defended: (Filled by the faculty service)	
Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)	<p>President: Prof. Lana Zorić, PhD, full professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad Member (supervisor): Prof. Jadranka Luković, PhD, full professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad Member: Prof. Milan Borišev, PhD, full professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad Member: Mr Andrej Pilipović, PhD, senior research associate, Institute of Lowland Forestry and Environment, University of Novi Sad</p>
Note:	no note

Zahvalnica

Eksperimentalni dio ove doktorske disertacije, analize i mjerenja mikroskopskom metodom izvedeni su na Departmanu za biologiju i ekologiju Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu, dok je priprema poprečnih presjeka vegetativnih organa (osim reznica vrba) metodom kriotehnike izvršena u laboratoriji za patologiju i TSE JU Veterinarskog instituta Republike Srpske “Dr Vaso Butozan” Banja Luka i u laboratoriji Katedre za histologiju i embriologiju Medicinskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci. Izrada disertacije realizovana je u okviru programa Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ev. br. 451-03-68/2022-14/200125). Dio rezultata koji se odnosi na anatomske i hidrauličke karakteristike adventivnih korijenova odabranih genotipova vrba objavljen je u časopisu Archives of Biological Sciences – Hrkić Ilić Z, Borišev M, Zorić L, Arsenov D, Luković J. Assessment of differences in anatomical and hydraulic properties of the root and xylem of three willow (Salix L.) clones during phytostabilization after exposure to elevated cadmium. Arch Biol Sci. 2022; 74(2): 169-80.

Za realizaciju ove doktorske disertacije s poštovanjem, srdačno i iskreno se zahvaljujem mentorki prof. dr Jadranki Luković, na ukazanom povjerenju, strpljenju, naučnoj, stručnoj i prijateljskoj podršci i pomoći.

Srdačno hvala prof. dr Lani Zorić na konstruktivnim savjetima koji su bili od izuzetnog značaja pri pisanju disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem kolegici Danijeli Arsenov na pomoći tokom rada u stakleniku, prijateljskom pristupu, savjetima, ustupljenoj literaturi i naučnoj pomoći tokom pisanja disertacije.

Od srca se zahvaljujem kolegicama Dunji Karanović, Jeleni Lazarević i Sanji Todorović na prijateljskoj pomoći tokom uzorkovanja biljnog materijala, podršci, literaturi i savjetima tokom rada na disertaciji.

Hvala kolegama sa Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu u Novom Sadu na ustupljenom biljnom materijalu.

Najveću zahvalnost dugujem mojoj porodici, roditeljima na bezuslovnoj ljubavi i podršci i sestri Dragani na ohrabivanju, svesrdnoj pomoći tokom tehničke pripreme disertacije i pozitivnoj energiji koju mi je pružila tokom doktorskih studija. Beskrajno hvala mom divnom suprugu i djeci, koji znaju zašto i kojima posvećujem disertaciju.

Zorana Hrkić Ilić

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Pregled literature.....	4
2.1. Potencijalno toksični elementi u biljkama (PTE).....	4
2.2. Izvori zagađenja životne sredine kadmijumom.....	5
2.3. Kadmijum: biodostupnost, usvajanje i transport u biljkama.....	7
2.4. Uticaj kadmijuma na žive organizme i mehanizmi odbrane.....	9
2.5. Uloga vegetativnih organa vrba u usvajanju, akumulaciji i transportu kadmijuma.....	12
2.6. Fitoremedijacija: tehnike, prednosti, nedostaci i noviteti.....	18
2.7. Dendroremedijacija: značaj primjene vrsta roda <i>Salix</i> u fitoremedijaciji.....	22
3. Cilj i radne hipoteze.....	27
4. Materijal i metode rada.....	28
4.1. Biljni materijal.....	28
4.2. Uslovi gajenja i eksperimentalni dizajn.....	28
4.3. Anatomska karakterizacija vegetativnih organa vrba.....	29
4.4. Stereološka analiza izbojaka.....	33
4.5. Statističke metode obrade podataka.....	34
5. Rezultati.....	35
5.1. Anatomska karakterizacija vegetativnih organa klonova vrsta <i>Salix alba</i> L., <i>Salix viminalis</i> L. i <i>Salix matsudana</i> Koidz.....	35
5.1.1. Anatomske karakteristike reznica klonova vrba.....	35
5.1.1.1. Karakteristike traheja, teoretska hidraulička provodljivost i indeks osjetljivosti reznica tri klona vrba.....	39
5.1.1.2. Analiza osnovnih komponenti (PCA) parametara reznice klonova vrba.....	42
5.1.1.3. Diskriminantna analiza parametara reznica klonova vrba.....	43
5.1.1.4. Korelaciona analiza anatomskih karaktera reznica klonova vrba.....	44
5.1.2. Uticaj Cd na anatomske karakteristike reznica klonova vrba.....	46
5.1.3. Promjene anatomskih osobina reznica klonova vrba tretiranih Cd u prisustvu limunske kiseline.....	51
5.1.4. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova klonova vrba.....	55
5.1.4.1. Analiza osnovnih komponenti anatomskih parametara korijena.....	58
5.1.4.2. Diskriminantna analiza anatomskih karaktera adventivnih korijenova klonova vrba.....	59
5.1.4.3. Korelaciona analiza anatomskih karaktera adventivnih korijenova klonova vrba ...	60
5.1.5. Uticaj kadmijuma na anatomske karaktere adventivnih korijena tri klona <i>Salix</i> spp.	62

5.1.6. Promjene anatomskih osobina korijena klonova vrba tretiranih kadmijumom u prisustvu limunske kiseline	68
5.1.7. Anatomske karakteristike izbojaka klonova vrba	75
5.1.7.1. Analiza osnovnih komponenti anatomskih parametara izbojaka klonova vrba.....	80
5.1.7.2. Diskriminantna analiza parametara izbojaka klonova vrba	81
5.1.7.3. Korelaciona analiza anatomskih karaktera izbojaka.....	82
5.1.8. Uticaj kadmijuma na anatomske karakteristike izbojaka klonova vrba.....	84
5.1.9. Promjene anatomskih osobina izbojaka klonova vrba tretiranih kadmijumom u prisustvu limunske kiseline	90
5.1.10. Stereološka analiza izbojaka klonova vrba	97
5.1.10.1. Analiza osnovnih komponenti volumenskih gustina tkiva izbojaka klonova vrba.....	102
5.1.10.2. Diskriminantna analiza volumenskih gustina tkiva izbojaka klonova vrba.....	103
5.1.11. Promjene volumenskih gustina tkiva izbojaka tri klona <i>Salix</i> spp. pod uticajem kadmijuma i kadmijuma u prisustvu limunske kiseline.....	104
5.1.12. Anatomske karakteristike liske i lisne drške klonova vrba.....	110
5.1.12.1. Analiza osnovnih komponenti anatomskih parametara liske.....	124
5.1.12.2. Diskriminantna analiza anatomskih karaktera liske	125
5.1.13. Uticaj kadmijuma na anatomske karaktere liske tri klona <i>Salix</i> spp.	126
5.1.14. Promjene anatomskih osobina liske klonova vrba tretiranih kadmijumom u prisustvu limunske kiseline	132
6. Diskusija	140
6.1. Anatomska građa vegetativnih organa klonova vrba.....	140
6.2. Uticaj Cd na anatomsku građu vegetativnih organa klonova vrba	150
6.3. Uticaj Cd u prisustvu limunske kiseline na anatomsku građu vegetativnih organa klonova vrba	160
7. Zaključci	164
8. Literatura.....	169
9. Prilog.....	211

1. Uvod

Metali predstavljaju konstituente Zemljine kore, odakle se u biosferu postepeno oslobađaju iz brojnih prirodnih izvora kao što su vulkanska aktivnost, prirodna erozija stijena pod uticajem atmosfere, vode i živog svijeta i šumski požari (Kabata-Pendias, 2011). Među metalima, bakar (Cu), gvožđe (Fe), mangan (Mn), molibden (Mo), nikl (Ni) i cink (Zn) su neophodni za rast i razvoj biljaka jer imaju razne metaboličke funkcije i generalno se označavaju kao esencijalni mikronutrijenti. Ali, zbog prirodnih i antropogenih uzroka, u prirodi se nalaze u veoma različitim koncentracijama koje variraju od deficitarnih do toksičnih. S druge strane, kadmijum (Cd) i olovo (Pb) su elementi bez poznate uloge u metabolizmu biljaka i široko se proučavaju kao potencijalno toksični zagađivači životne sredine (Küpper, 2017; Rahman i Singh, 2019). Zagađivanje zemljišta metalima traje još od početka industrijske revolucije i predstavlja stalan izvor opasnosti za životnu sredinu i zdravlje ljudi širom svijeta (Zacchini i sar., 2009; Page i sar., 2014; Emenike i sar., 2018). Za razliku od organskih kontaminanata, metali se ne mogu ukloniti iz životne sredine hemijskom ili biološkom transformacijom. Iako se toksičnost nekih metala može smanjiti promjenom njihovog hemijskog oblika, oni se ne razlažu, već ostaju zauvijek u životnoj sredini (Knox i sar., 2001; Prasad i Freitas 2003; Suman i sar., 2018). Kadmijum (Cd) je metal koji je privukao najveću pažnju istraživača zbog svoje potencijalne toksičnosti za ljude, kao i relativne pokretljivosti u sistemu zemljište-biljka. Primjena različitih hemijskih tretmana u poljoprivredi, industrijalizacija i urbanizacija predstavljaju sve veće izvore Cd u životnoj sredini, čije koncentracije premašuju oslobađanje iz prirodnih izvora i uzrokuju današnje probleme zagađenja (Vangrosveld i sar., 2009; Valavanidis i Vlachogianni, 2010; Zacchini i sar., 2009; Vaculík i sar., 2012).

Za potrebe remedijacije i prečišćavanja zemljišta zagađenih metalima, razvijene su brojne *in situ* i *ex situ* tehnologije fizičke, hemijske, električne i termičke sanacije zagađenja (Liu i sar., 2018). Međutim, ove tehnologije često su skupe, tehnički komplikovane i mogu da nepovratno poremete prirodne osobine zemljišta (Tangahu i sar., 2011; Awa i Hadibarata, 2020). Iz tih razloga potrebna je inovativna, ekonomski isplativa, ekološki prihvatljiva i efikasna tehnologija uklanjanja zagađujućih koncentracija metala iz zemljišta (Ali i sar., 2013; Sharma i Pandey, 2014; Lebrun, 2018), kao što je fitoremedijacija. Iako je fitoremedijacija poznata više od 20 godina i primjenjuje se za širok spektar neorganskih i organskih polutanata, njena održivost i dalji razvoj još uvijek su predmet mnogih istraživanja. Kako je ovo *in situ* tehnologija, ona omogućava rehabilitaciju velikih površina zemljišta, uz održavanje i poboljšanje zemljišne plodnosti. Pored toga, u procesu fitoremedijacije nastaje manje otpadnog materijala, jer se produkovana biomasa može iskoristiti za stvaranje energije i reciklažu metala (Tangahu i sar., 2011; Abhilash i sar., 2012; Ali i sar., 2013). Fitoremedijacija uz pomoć drvenastih biljnih vrsta, poznata kao dendroremedijacija, pruža mogućnost ekstrakcije ili stabilizacije metala u zagađenom zemljištu. Ova tehnologija se bazira na korištenju drvenastih biljaka sa visokom produkcijom biomase koje transportuju metale iz zemljišta u svoje nadzemne organe. Metali se uklanjaju zajedno sa stvorenom biomasom stabla i listova, a pri tom ne dolazi do narušavanja osobina zemljišta ili potrebe odlaganja metala na drugim lokalitetima (Schoenmuth i Pestemer, 2004; Komives i Gullner, 2006; González-Oreja i sar., 2008; Mleczek i sar., 2018; Budzyńska i sar., 2021). Ovakav pristup oporavka i obnavljanja životne sredine predstavlja inovativni alat koji se u novije vrijeme definiše i kao tehnologija bazirana na prirodnim rješenjima, koja istovremeno omogućava i ozelenjivanje lokaliteta i iskorištavanje stvorene biomase u proizvodnji bioenergije (Tangahu i sar., 2011; Song i sar., 2019; Grifoni i sar., 2021). Za uspješnu fitoremedijaciju konstantno se proučavaju brzorastuće drvenaste vrste iz roda *Salix* L. (vrbe). Vrbe imaju ulogu u fitoremedijaciji potencijalno

toksičnih elemenata (PTE), zahvaljujući osobinama kao što su lako vegetativno razmnožavanje reznicama, ekstenzivan korijenov sistem, produkcija velikih količina nadzemne biomase, visok intenzitet transpiracije i sposobnost akumulacije i tolerancije visokih koncentracija elemenata (Pulford i Watson, 2003; Mleczeck i sar., 2010; Marmiroli i sar., 2011; Sylvain i sar., 2016; Lebrun i sar., 2018).

Dosadašnja istraživanja na selekcijama vrba na području Republike Srbije u cilju identifikacije genotipova sa značajnom ulogom u fitoremedijaciji PTE i organskih polutanata ukazala su na različitu sposobnost odabranih genotipova za ove namjene. Fitotoksični efekti Cd na vrbe bili su predmet analiza na fiziološkom i biohemijskom, a dijelom i morfološkom nivou (Cosio i sar., 2006; Dos Santos Utmazian i sar., 2007; Borišev i sar., 2009; Pajević i sar., 2009; Arsenov i sar., 2017, 2019). S druge strane, anatomske i histološke analize vegetativnih organa vrba pod uticajem povišenih koncentracija Cd su nedovoljne i malobrojne. Da bi se vrbe uspješno primjenjivale u fitoremedijaciji Cd, potrebno je upotpuniti saznanje o uticaju visokih koncentracija Cd na anatomske karakteristike vegetativnih organa vrba. Posebnu ulogu u fitostabilizaciji i fitoekstrakciji polutanata ima korijen, glavni organ preko kojeg u biljni organizam dospijevaju ne samo voda i nutrijenti, već i različiti elementi (Lux i sar., 2004; Vaculík i sar., 2012). Korijen vrba može da akumulira i do 10 puta više Cd u odnosu na nadzemne organe (Lux i sar., 2004; Borišev i sar., 2009; Luković i sar., 2012; Tószér i sar., 2017), što je u suštini mehanizam „isključenja“ ili ekskluzije, kojim se Cd zadržava u tkivima korijena i ograničava njegova translokacija ka fotosintetski aktivnim nadzemnim organima (Arsenov i sar., 2019). Dosadašnje analize anatomske i histološke promjene korijena vrba pod uticajem Cd odnosile su se na primarnu anatomsku građu. Podaci o strukturnim promjenama sekundarne građe korijena vrba pod tretmanom Cd veoma su oskudni i nedovoljno istraženi, iako ukazuju na značaj sekundarnog ksilema korijena u njegovoj akumulaciji (Vaculík i sar., 2012). Različiti genotipovi vrba ispoljavaju značajnu varijabilnost i plastičnost anatomske i hidrauličke karakteristike drveta (Loyal i sar., 2018). Drvo tj. ksilem objedinjuje funkcije transporta i skladištenja vode i nutrijenata (Tyree i Ewers, 1991), neophodnih resursa za opstanak vrba u promjenljivim uslovima životne sredine (Dos Santos Utmazian i sar., 2007). Voda je glavni ograničavajući faktor za produkciju biomase nadzemnih organa vrba (Kuzovkina i Quigley, 2005; Hajek i sar., 2014; Rucińska-Sobkowiak, 2016) koja akumulira značajne koncentracije Cd (Dos Santos Utmazian i sar., 2007; Borišev i sar., 2009; Zacchini i sar., 2009). Naučni značaj za proučavanje drveta leži upravo u činjenici da je visoka hidraulička efikasnost ksilema neophodna za održavanje visoke produktivnosti i prilagođavanje abiotičkim faktorima stresa (Tyree i Ewers, 1991; Hajek i sar., 2014; Ogasa i sar., 2013). Hidraulička provodljivost i efikasnost ksilema drvenastih vrsta u transportu vode određena je samim anatomske karakteristike ksilema: gustinom rasporeda provodnih elemenata, širinom njihovog lumena na poprečnom presjeku i dijametrom provodnih sudova, a naročito traheja (Tyree i Ewers, 1991; Hajek i sar., 2014). Literaturni podaci o anatomske i hidrauličke osobinama ksilema vrba pod uticajem teških metala takođe su veoma oskudni (Almeida-Rodríguez i sar., 2015), a za uticaj Cd uopšte nisu dostupni. Odgovarajuća selekcija vrba prema otpornosti na teške metale mora uzeti u obzir kavitaciju i embolizam ksilema i povezanosti ovih osobina sa anatomske parametrima broja i dijametra traheja. List vrba posjeduje kapacitet akumulacije značajnih koncentracija Cd (Dos Santos Utmazian i sar., 2007; Borišev i sar., 2009; Luković i sar., 2012; Hrkić Ilić i sar., 2020). I pored toga što postoje značajni podaci o uticaju Cd na strukturu lista vrba, oni su ipak ograničeni na svega nekoliko genotipova i u većini slučajeva ukazuju na lokalizaciju i ulogu pojedinih tkiva lista u akumulaciji Cd (Cosio i sar. 2006; Vollenweider i sar., 2006) dok su detaljni podaci o uticaju Cd na histološke i mikromorfološke parametre liske malobrojni (Luković i sar., 2012), a za lisnu dršku nedostupni. Komparativna anatomske i mikromorfološke analiza vegetativnih organa različitih genotipova vrba dopunila bi znanje o

biologiji vrba i doprinijela odabiru karaktera koji su važna smjernica u selekciji ekonomski vrijednih genotipova visoke otpornosti na zagađenje Cd. Anatomskim istraživanjima mogu da se dobiju veoma važni podaci neophodni za sveobuhvatno razumijevanje rasta, razvoja, produktivnosti i mehanizama tolerancije biljaka izloženih PTE. Na taj način se dolazi do novih ideja o mogućnostima gajenja vrba sa potencijalnom primjenom u dendroremedijaciji. Stereološka analiza biljnih organa vrba u cjelini, kao i pojedinih tkiva od interesa, omogućava visoko preciznu procjenu trodimenzionalnih parametara, kao što je volumen tkiva u definisanim segmentima pojedinih organa, kao što su izbojci. Podaci dobijeni stereološkom analizom mogu poslužiti u definisanju detaljne anatomske osnove za odabir genotipova vrba sa dendroremedijacionim potencijalom. Uporednim sagledavanjem rezultata klasične anatomske analize i stereološkog metoda dobija se detaljniji uvid o strukturno-funkcionalnoj povezanosti. Rezultati ovih analiza ukazuju na anatomske karaktere koji mogu biti od značaja u selekcionom programu genotipova vrba.

Da bi se jasnije mogli odabrati genotipovi sa većim potencijalom za dendroremedijaciju Cd, neophodna su kontinuirana istraživanja koja bi obuhvatila postavljanje mnogo kompleksnijih ogleda sa različitim koncentracijama Cd i različitom dužinom trajanja tretmana. U cilju unapređenja efikasnosti fitoremedijacije Cd primjenom vrba u obzir se moraju uzeti i osobine zemljišta. Limitirajući faktor može biti visok pH, što se može prevazići dodatkom helatnih jedinjenja kao što je limunska kiselina. Najnovija istraživanja fizioloških i biohemijskih parametara vrba korištenih u asistiranoj fitoremedijaciji primjenom limunske kiseline ukazuju na povećanu efikasnost uklanjanja Cd u prisustvu ovog helatnog jedinjenja (Arsenov i sar., 2017, 2019). Na osnovu navedenog, anatomski aspekt ove metodologije tek treba da se istraži.

2. Pregled literature

2.1. Potencijalno toksični elementi u biljkama (PTE)

Za pravilan rast i razvoj biljaka neophodni su različiti hemijski elementi (tzv. biogeni elementi), koje biljke usvajaju iz spoljašne sredine, uglavnom putem korijena, ali u određenom procentu i preko lista i stabla. Do danas je identifikovano oko 70 elemenata periodnog sistema, koji se, prema značaju i funkciji u biljkama, definišu kao neophodni, korisni i toksični (Petrović i Kastori, 1992; Kastori i sar., 1997; Oljača i sar., 2006, 2017).

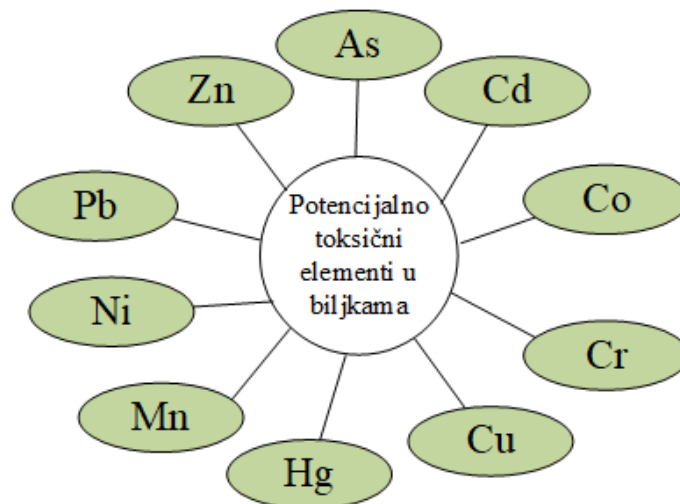
Ekotoksikolozi i naučnici koji proučavaju zagađenje životne sredine često u svojim istraživanjima navode termin „teški metali“, podrazumijevajući pod ovim terminom sve one elemente iz Periodnog sistema koji ispoljavaju negativan uticaj na životnu sredinu i žive organizme. Teškim metalima smatraju se elementi čija je gustina atoma veća od 5 g/cm^3 . U grupu teških metala najčešće se ubrajaju Cd, Hg, Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Co, V, Ti, Fe, Mn, Ag i Sn (Kastori i sar., 1997; Taiz i Zeiger, 2002; Cobbett, 2003). Mnogi od ovih elemenata su neophodni za metabolizam živih organizama: Fe, Cu, Co, Zn, Mo i Mn. Značajnu ulogu za biljke imaju Na, Ca i K. Međutim, ovi elementi mogu biti toksični za biljke kada su prisutni u povećanim koncentracijama. S druge strane, elementi kao što su Al, Cd, Hg, Pb, Sn, Se, Cr i As nemaju ulogu u metaboličkim aktivnostima živih organizama i imaju toksično dejstvo čak i pri malim koncentracijama (Kastori i sar., 1997; Krstić i sar., 2011; Kabata-Pendias, 2011).

Iz navedenog je jasno da se u literaturi pod jedinstvenim terminom „teški metali“ podrazumijeva veoma heterogena grupa elemenata, koja zajedno obuhvata metale, prelazne metale, metaloide, pa čak i nemetale kao što je Se (Nagajyoti i sar., 2010; Kabata-Pendias, 2011; Alloway, 2012). Međutim, termin „teški metali“ nikada nije definisalo nijedno autoritativno tijelo, kao što je Međunarodna unija za čistu i primjenjenu hemiju (eng. International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC). Zbog toga se u naučnoj zajednici sve više skreće pažnja na nepreciznu i zbunjujuću upotrebu termina „teški metali“, koji nije jasno definisan i zahtijeva reviziju na sveobuhvatniji, nedvosmislen i naučni način (Appenroth, 2010; Ali i Khan, 2019).

Duffus (2002) je napomenuo da je termin „teški metali“ uglavnom povezan sa hemijskim opasnostima i često se koristi kao naziv za grupu metala i metaloida koji su povezani sa kontaminacijom i potencijalnom (eko)toksičnošću. Ovaj autor termin „teški metal“ smatra nepreciznim, jer se zasniva na kategorizaciji elemenata prema različitim kriterijumima (atomska težina, atomski broj, gustina, hemijska svojstva).

Kabata-Pendias, baveći se elementima u biosferi u brojnim naučnim knjigama i radovima (2000, 2007, 2011, 2015), takođe smatra da termin „teški metali“ nije precizno definisan jer se zasniva na različitim kriterijumima. Umjesto toga, autor u svojim publikacijama koristi termin „elementi u tragovima“ koji je povezan sa njihovom zastupljenošću u biosferi i obuhvata metale i metaloide različitih hemijskih osobina. I sam autor navodi da i termin „elementi u tragovima“ nije precizan, ali se najčešće koristi u geochemiji, za hemijske elemente koji se javljaju u Zemljinoj kori u količinama manjim od 1000 mg/kg , kao i u biološkim naukama za elemente u sličnim koncentracijama. Dakle, neki elementi koji su „u tragovima“ u biološkim materijalima, nisu „u tragovima“ u zemljištu (npr. Fe). Termini „mikronutrijenti“, „esencijalni elementi“ i „toksični elementi“ povezani su sa njihovim fiziološkim funkcijama. Zbog mnogobrojnih termina i njihove neprecizne upotrebe, u naučnoj literaturi je nastala velika zabuna (Kabata-Pendias, 2011).

Pourret i Hursthouse (2019) također navode da se termin „teški metal“ decenijama koristi u prirodnim naukama, posebno u studijama uticaja zagađenja na životnu sredinu. Najčešće se koristi kao naziv za grupu prelaznih metala od V do Zn, koji su povezani sa kontaminacijom i potencijalnom toksičnošću. Lista „teških metala“ nije jasno definisana i često su metali, metaloidi i nemetali u njoj zajedno navedeni. Niz elemenata od V do Zn su prelazni metali, As je metaloid, Se nemetal i Ba zemljoalkalni metal. Svi tzv. „teški metali“ i njihova jedinjenja mogu imati relativno visoku toksičnost. U zavisnosti od doze i nivoa izloženosti organizma i populacije, ravnoteža između esencijalnih i toksičnih elemenata može da se mijenja (npr. između Ni i Zn). Elementi se uglavnom smatraju toksičnim zbog podataka koji ukazuju na toksičnost samo nekih hemijskih oblika u kojima se javljaju. Međutim, njihove fizičke, hemijske i biološke karakteristike, kao i toksičnost zavise od molekularnog oblika koji se često zanemaruje, koncentracije i biodostupnosti. Zbog toga autori preporučuju upotrebu termina „potencijalno toksični element(i)“ (skraćeno PTE), koji ima širi i manje dvosmislen značaj. Među ovim elementima (Slika 1.), po svojim brojnim negativnim dejstvima na životnu sredinu, biljne i životinjske organizme i čovjeka, posebno se ističe kadmijum (de Almeida i sar., 2007; Zacchini i sar., 2009; Haider i sar., 2021).



Slika 1. Potencijalno toksični elementi u biljkama (orig., prema navodima Okereafor i sar., 2020)

2.2. Izvori zagađenja životne sredine kadmijumom

Zagađenje životne sredine organskim i neorganskim polutantima, prije svega metalima i metaloidima predstavlja ozbiljan problem na svjetskom nivou, utičući prije svega na ljudsko zdravlje (Usman i sar., 2013; Page i sar., 2014; Emenike i sar., 2018). Metali u životnoj sredini vode porijeklo iz prirodnih litogenih i pedogenih procesa, ali i iz antropogenih izvora (Prasad i Freitas, 2003; Kabata-Pendias, 2011). Najznačajniji antropogeni izvori metala su izduvni gasovi automobila, rafinerije naftnih derivata, rudnici i topionice ruda, proizvodnja i primjena vještačkih đubriva i pesticida, odlagališta otpadnih muljeva, industrijskog i urbanog otpada (Kuzovkina i Quigley, 2005; Kabata-Pendias, 2011; Wasewar i sar., 2020).

Kadmijum (Cd) je prelazni metal koji pripada 12 (ranije IIB) grupi periodnog sistema elemenata. Istovremeno i nezavisno otkrili su ga njemački hemičari Fridrih Štromajer i Karl Herman 1817. godine u uzorcima cink-oksida dobijenog žarenjem cink-karbonata iz područja Salcgitera (Njemačka). Ustanovili su da žuta boja cink-oksida potiče od oksida nekog do tada nepoznatog elementa kojeg su nazvali kadmijum prema riječi *cadmia*, ranijem nazivu za kalamini ili cink-oxid (lat. *cadmia*, grč. *kadmeia*, mješavina minerala koja sadrži kadmijum, a

koji je dobio ime po liku iz grčke mitologije Kadmosu, osnivaču grada Tebe), s obzirom da je kadmijum veoma česta primjesa u rudama cinka (Morrow, 2010; Tran i Popova, 2013). Njegova gustina je veća od $5,0 \text{ g cm}^{-3}$ (iznosi $8,6 \text{ g cm}^{-3}$) zbog čega ga neki autori ubrajaju u teške metale (Sanità di Toppi i Gabbrielli, 1999; Seregin i Ivanov, 2001; Benavides i sar., 2005; Amari i sar., 2017).

Kadmijum u životnoj sredini vodi porijeklo iz prirodnih i antropogenih izvora. U prirodi je relativno rijedak element, prisutan u obliku dvovalentnog katjona (Cd^{2+}), koji lako stvara komplekse sa hlorom (Cl), sumporom (S) i bazama (OH). Rijetko se nalazi u čistom obliku, već u obliku minerala, od kojih su najpoznatiji grinokit (CdS), otavit (CdCO_3) i monteponit (CdO). Iz prirodnih izvora se oslobađa erozijom matičnih stijena, vulkanskim erupcijama i šumskim požarima, u obliku jednostavnih i lako pokretljivih jedinjenja CdO , Cd(OH)_2 , CdCl_2 i CdF_2 . Prosječni sadržaj Cd u gornjim slojevima Zemljine kore kreće se u granicama od 0,1 do 0,2 mg/kg (Kabata-Pendias i Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias, 2011; Kabata-Pendias i Szteke, 2015). U svjetskim zemljištima sadržaj Cd se kreće od 0,06 do 1,1 mg/kg, prosječno oko 0,41 mg/kg (Kabata-Pendias i Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias i Szteke, 2015). U prirodnim nezagađenim vodama koncentracija Cd je ispod $1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (WHO, 2011). U vodene sisteme Cd dospjeva iz različitih antropogenih izvora, među kojima se topljenje i prerada ruda smatra najvećim zagađivačem (Kabata-Pendias i Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias, 2011). Kontaminacija vode za piće može nastati zbog prisustva Cd kao nečistoće pocinkovanih cijevi ili lemova u bojlerima i slavinama za vodu (WHO, 2011). Prosječna svjetska koncentracija Cd u vazduhu nezagađenih regiona je u granicama između 0,2 i $0,4 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ dok na zagađenim lokalitetima iznosi oko $20 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Najznačajniji izvori Cd u atmosferi su metalurgija, sagorijevanje otpada i fosilnih goriva, proizvodnja cementa i pigmenta, habanje automobilskih guma (Kabata-Pendias i Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias, 2011).

Nakon Hg i Pb, Cd je identifikovan kao treći najznačajniji polutant životne sredine (Pinto i sar., 2004; Ismael i sar., 2019). Sadašnje koncentracije Cd u zemljištima su za oko 0,1 do 0,3 mg/kg veće od iskonskih (geogenih) koncentracija iz preindustrijskog perioda (Smolders i Mertens, 2013). Komercijalna proizvodnja i upotreba Cd započela je u Njemačkoj krajem 19. vijeka, a današnji najveći proizvođači su Kina, Koreja, Sjedinjene Američke Države, Japan, Kanada, Meksiko, Rusija i Peru (Morrow, 2010; Indian Bureau of Mines, 2019). Brzina depozicije Cd u zemljištima industrijskih oblasti Evrope procjenjuje se na 3,0 g/ha godišnje (Kabata-Pendias i Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias, 2011). Zagađenje zemljišta Cd potiče od čestica Cd koje se talože iz zagađenog vazduha, unošenja fosfatnih đubriva i kanalizacionih muljeva u poljoprivredi, prerade cinkovih ruda i proizvodnje Ni-Cd i Ag-Cd baterija koje čine čak 70% od ukupne upotrebe Cd. Pored toga, Cd se koristi za proizvodnju raznih legura, za premaze i elektroplatanje radi zaštite od korozije, dobijanje crvenog, narandžastog i žutog pigmenta na bazi kadmijum sulfida (CdS), stabilizatore protiv topljenja i savijanja plastičnih materijala, proizvodnju kadmijum-telurida (CdTe) za solarne ćelije (Kabata-Pendias i Mukherjee, 2007; Morrow, 2010; Kabata-Pendias, 2011; Kabata-Pendias i Szteke, 2015).

Iako koncentracije Cd predstavljaju samo mali udio od ukupne količine katjona u zemljišnom rastvoru i ne utiču na hemizam zemljišta, zbog izražene toksičnosti djeluju na funkcionisanje ekosistema. Vrijednost pH i sadržaj organske materije zemljišta značajno više od ukupnog sadržaja Cd utiču na rastvorljivost, pokretljivost i koncentraciju Cd u zemljišnom rastvoru. Toksičnost Cd u zemljištima je trajna, ne samo zbog višedecenijskog zadržavanja, već i zbog toga što njegova biodostupnost ne opada tokom vremena. Elektronska konfiguracija Cd^{2+} katjona, koji imaju sličnu valencu i radijus kao katjoni Ca^{2+} , omogućava stvaranje čvrstih veza sa zemljišnim koloidima i veću dostupnost putem lanaca ishrane (Kabata-Pendias i Szteke, 2015).

2.3. Kadmijum: biodostupnost, usvajanje i transport u biljkama

Kadmijum se danas smatra jednim od najekotoksičnijih i najgenotoksičnijih metala, koji ispoljava niz negativnih efekata na sve biološke procese ljudi, životinja i biljaka (de Almeida i sar., 2007; Kabata-Pendias, 2011). U poređenju sa drugim PTE, Cd i njegova jedinjenja su relativno rastvorljiviji u vodi, mobilniji u sistemu zemljište-biljka, imaju veću biodostupnost i bioakumulaciju (Tran i Popova, 2013). Hemizam Cd u zemljištu i njegova akumulacija u biljkama se proučavaju još od 1970-ih godina 20. vijeka, da bi se razumjeli procesi usvajanja, distribucije, akumulacije, toksičnosti i tolerancije ovog metala u biljkama (Sterckeman i Thomine, 2020). Vrijeme zadržavanja Cd u zemljištima umjerene klime se kreće između 75 i 380 godina (Kabata-Pendias, 2011). Zbog toga je Cd iz zagađenog zemljišta lako dostupan biljkama. Generalno, biljke sa kontaminiranih zemljišta sadrže oko 1000 puta veće količine Cd od biljaka koje rastu na nezagađenim zemljištima, što uzrokuje povećan zdravstveni rizik po ljude i životinje. Distribucija Cd u šumskim ekosistemima je od posebnog značaja za praćenje stanja zagađenosti životne sredine. Kadmijum se nakuplja u mrtvoj kori četinara u koncentracijama i do 1,3 mg/kg, što dovodi do njegovog nagomilavanja u drvnom pepelu u količini do 30 mg/kg. U drvnom pepelu vrbe sadržaj Cd može dostići nivo od 70 mg/kg (Kabata-Pendias, 2011).

Nije lako procijeniti stepen fitodostupnosti Cd na koji djeluju fizički, hemijski i biološki procesi koji kontrolišu rastvorljivost Cd i hemijski oblik u kojem se nalazi u zemljišnom rastvoru (Welch i Norvell, 1999; Kabata-Pendias, 2011). Od abiotičkih faktora najznačajnije su osobine zemljišta: pH, sadržaj gline, karbonata, oksida Fe i Mn, organske materije, redoks potencijal, kompleksirajući ligandi, temperatura, sadržaj vode, koncentracija Zn, stepen saliniteta, prakse obrađivanja zemljišta i dodavanje fosfatnih đubriva, stajnjaka, otpadnih muljeva i kreča (Welch i Norvell, 1999; Benavides i sar., 2005; Hasan i sar., 2009; Kabata-Pendias, 2011). Smatra se da je pH zemljišta glavni faktor koji kontroliše usvajanje Cd u biljkama. U najvećem broju slučajeva, Cd je najdostupniji biljkama iz zemljišta sa pH vrijednošću između 4,5 i 5,5. Međutim, ako se Cd nalazi u obliku kompleksnih jedinjenja/helata, pH zemljišta nema uticaj na njegovo usvajanje od strane biljaka. Takođe, niski redoks potencijal zemljišta smanjuje rastvorljivost i dostupnost Cd. Kompleksi Cd sa Fe-Mn oksidima su takođe lako dostupni nekim biljkama (Kabata-Pendias, 2011). Biološki faktori od kojih zavisi fitodostupnost Cd obuhvataju biljnu vrstu, tip i aktivnost korijenovog sistema i dejstvo rizosferih mikroorganizama (Welch i Norvell, 1999).

Postoji linearna veza između sadržaja Cd u biljkama i njegove koncentracije u supstratu na kojem rastu (Kabata-Pendias, 2011). Međutim, biodostupnost Cd široko (i desetostruko) varira u biljkama, čak i kada one rastu u uslovima identične koncentracije Cd u zemljištu, zbog čega se stepen usvajanja Cd ne može predvidjeti samo na osnovu koncentracije u zemljištu. Posljedica relativno velike biodostupnosti Cd u zagađenim zemljištima je oko 0,05 do 2 puta veća koncentracija Cd u suvoj masi biljaka od ukupne koncentracije u zemljištu. Usvajanje Cd nije regulisano fiziološkom granicom tj. potrebama biljaka zbog čega se ono povećava sa povećanjem ukupnog sadržaja Cd i smanjenjem pH i procenta organske materije u zemljištu (McLaughlin i sar., 2011; Smolders i Mertens, 2013; Kubier i sar., 2019). Takođe, usvajanje i distribucija Cd u biljci variraju zavisno od biljne vrste, populacije ili sorte, što ukazuje na važnost genetskih faktora i specifičnih biomolekula koji učestvuju u ovim procesima (Sterckeman i Thomine, 2020).

Biljke usvajaju Cd iz zemljišnog rastvora najčešće u obliku neorganskih jedinjenja (CdSO_4 , CdCl^+ , CdCl_2) ili u obliku kompleksa sa organskim jedinjenjima koje sintetiše korijen (McLaughlin i sar., 1996; Kubier i sar., 2019). Mehanizmi usvajanja, translokacije, akumulacije

i stvaranja depozita Cd u biljkama zavise od biodostupnosti, pH, temperature i redoks potencijala zemljišta i koncentracije drugih elemenata. Divalentni katjoni rizosfere Ca^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} i Mn^{2+} inhibišu usvajanje Cd i akumulaciju u korijenovima biljaka (Lux i sar., 2011). Utvrđeno je da u uslovima deficita Fe biljke akumuliraju Cd (Wuana i Okieimen, 2011). Na rastvorljivost i dostupnost Cd u biljkama utiču i korijenske izlučevine koje zakiseljavaju zemljište (Raskin i sar., 1997; Lux i sar., 2011). Aktivnošću protonske pumpe (H^+ -ATPaze) plazma membrane korijenovih ćelija i izlučivanjem jona H^+ ćelije korijena stvaraju i održavaju negativan gradijent koncentracije koji pokreće difuziju katjona Cd^{2+} ka korijenu i njegovu apsorpciju (Irfan i sar., 2013; Sterckeman i Thomine, 2020). Nastali membranski potencijal stvara dovoljno energije da pokrene apsorpciju Cd čak i pri veoma niskim koncentracijama (Costa i Morel, 1993; Pinto i sar., 2004). Kadmijum može da se transportuje advekcijom, krećući se prema korijenu istom brzinom kao i voda koju biljka usvaja za potrebe transpiracije, ali ovaj proces je najčešće zanemarljiv u poređenju sa difuzijom (Sterckeman i Thomine, 2020).

Usvajanje Cd putem korijena i translokacija prema nadzemnim organima odvija se u tri koraka, adsorpcijom na površinu korijena, ulaskom u tkiva korijena i daljim apoplastnim i simplastnim transportom (Lux i sar., 2011; Song i sar., 2016; Ismael i sar., 2018). U prvom koraku, koji se brzo odvija bez utroška energije, Cd elektrostatički reaguje sa negativno naelektrisanim karboksilnim i hidrosilnim grupama ćelijskih zidova korijena, čime se adsorbuje na površinu korijena (Yamaguchi i sar., 2011; Yang i sar., 2021). Transport kroz ćelijsku membranu je sledeći korak u procesu apsorpcije metala i ulaska u biljna tkiva (Yin i sar., 2015). S obzirom da Cd nema poznatu biološku ulogu u biljkama, one nisu razvile specifične mehanizme za njegovo usvajanje i transport preko ćelijskih membrana. Umjesto toga, katjoni Cd^{2+} se usvajaju kroz plazma membranu ćelija korijena preko membranskih Ca^{2+} kanala (Connolly i sar., 2002; Lux i sar., 2011; Li i sar., 2012; Yang i sar., 2021) i nepotpuno selektivnih membranskih transportera za neophodne elemente (Clemens, 2001; Rascio i Navari-Izzo, 2011), kao što su Fe i Zn transportni proteini poznati kao ZIP familija transportera (Guerinot, 2000; Vert i sar., 2009). Osim toga i druge familije transportnih proteina imaju ulogu u usvajanju Cd kroz membrane, kao što su OPT (oligopeptidni transporteri), YSL protein (eng. yellow strip-like protein) (Curie i sar., 2008; Wang i sar., 2013), HMA (eng. heavy metal-associated) protein (Takahashi i sar., 2012) i NRAMP protein makrofaga povezan sa prirodnim otporom (eng. natural resistance-associated macrophage protein) (Milner i sar., 2014; Abedi i Mojiri, 2020; Sterckeman i Thomine, 2020). Ovaj korak omogućava dalji transport Cd kroz apoplast i simplast korijena. U apoplastu korijena dolazi do elektrostatičke interakcije između pozitivno naelektrisanih metalnih katjona i negativnih karboksilnih grupa, a za ovaj vid transporta nije potrebna energija tj. predstavlja pasivni transport (Yin i sar., 2015). Dio jona Cd usvojenih iz zemljišnog rastvora adsorbuje se na pektinsko-celulozne ćelijske zidove korijena. Drugi dio jona difunduje kroz apoplast sve do prve apoplastne barijere tj. ekstracelularnog matriksa koji sprečava difuziju jona između ćelija zbog stvaranja depozita nepropusnih polimera kao što su lignin, koji stvara Kasparijev pojas, ili suberin. Zavisno od biljne vrste, prva apoplastna barijera je egzodermis, koji se nalazi odmah ispod rizodermisa ili endodermisa koji odvaja centralni cilindar korijena (Lux i sar., 2011). Ubrzano formiranje i sazrijevanje apoplastnih barijera i sekvestracija u vakuoli su mehanizmi koji ograničavaju kretanje Cd prema ksilemu korijena i dalje prema nadzemnim organima (Lux i sar., 2011; Yin i sar., 2015). Da bi na neki način „zaobišao“ apoplastne barijere, Cd se kroz tkiva korijena transportuje simplastom, što zahtijeva utrošak metaboličke energije i sporije se odvija (Ismael i sar., 2018). Iz apoplasta Cd ulazi u ćelije korijena putem membranskih transportnih proteina, zahvaljujući visokoj mobilnosti i rastvorljivosti u vodi (Yang i sar., 2021). Kada se nađu u simplastu korijena, katjoni Cd^{2+} stvaraju organske ligande sa fitohelatinima, metalotioninima i organskim kiselinama, čime se redukuje koncentracija slobodnih katjona Cd^{2+} u citoplazmi i njihova

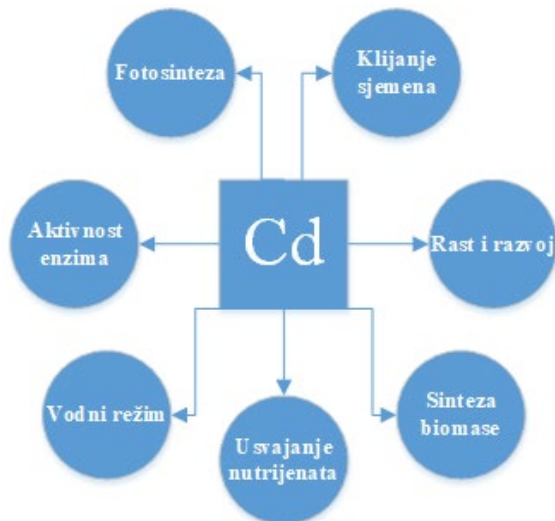
toksičnost. Transportni proteini P_{1B}-ATPaze, ABC transporteri i H⁺/Cd²⁺ antiporteri koji se nalaze u tonoplastu imaju ulogu u premještanju Cd²⁺ i Cd-helatnih kompleksa iz citoplazme u vakuolu, održavajući homeostazu katjona u ćeliji i vršeći njihovu detoksikaciju (Salt i Wagner, 1993; Lux i sar., 2011; Song i sar., 2016). Neki joni Cd²⁺ iz citoplazme difunduju prema ksilemu, kroz plazmodezme susjednih ćelija. Katjoni Cd²⁺ ulaze u ksilem preko membranskih transportera i aktivnim transportom, nasuprot elektrohemijskom gradijentu i dalje se premještaju u nadzemne organe putem ksilemskog soka (Lux i sar., 2011; Yang i sar., 2021). U ksilemskom soku, Cd²⁺ joni stvaraju komplekse sa ligandima koji se transportuju transpiracionim tokom. Tokom transporta, dio jona reaguje sa ćelijskim zidovima ksilema i adsorbuje se za njih, ulazeći u ćelije stabla preko transportnih proteina. Kada transpiracionim tokom dospiju do listova, joni Cd stvaraju organske ligande i premještaju se od ćelije do ćelije, ulaze u organele ili vakuolu gdje se nagomilavaju kao helati.

U izdancima joni Cd²⁺ se distribuišu u različitim količinama, zavisno od ćelijskog kompartimenta i tkiva. Najčešće (ne uvijek) akumulacija Cd je najveća u korijenu. Akumulacija Cd u nadzemnim organima je manja nego u korijenu, što je povezano sa zadržavanjem Cd u tkivima korijena zbog razvoja apoplastnih barijera i sekvestracijom u vakuoli (Enstone i sar., 2003, Lux i sar., 2011; Vaculík i sar., 2012). Smatra se da se dio Cd koji je akumulisan u listovima preraspoređuje u druge organe, kao što su korijen, reproduktivni organi i sjeme, putem floema. Floem preuzima dio Cd koji još nije došao do listova, zahvaljujući procesu razmjene jona sa ksilemom u stablu (Yang i sar., 2021). Raspodjela Cd u biljkama varira u zavisnosti od biljnih vrsta i sorti, osobina organa i tkiva, kao i stepena biljne tolerancije i sposobnosti hiperakumulacije Cd (Lux i sar., 2011).

2.4. Uticaj kadmijuma na žive organizme i mehanizmi odbrane

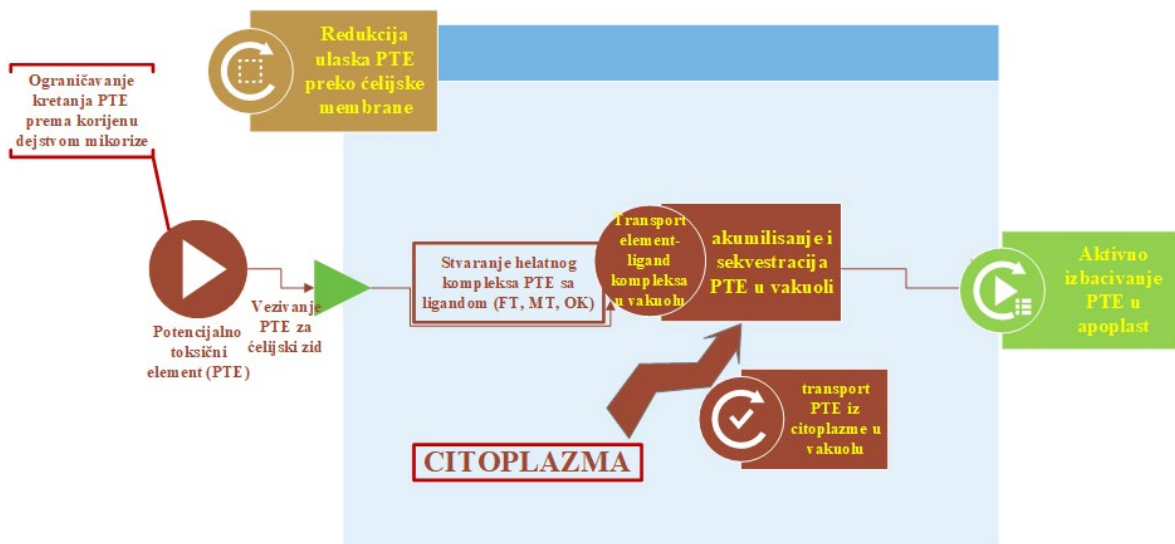
Nije poznata biološka funkcija Cd u živim organizmima, izuzev morske dijatomeje *Thalassiosira weissflogii* (Grunow) G. Fryxell & Hasle, kod koje zamjenjuje Zn kao kofaktor enzima karbonske anhidraze (Lane i sar., 2005). Kao neesencijalni metal veoma je toksičan za sve žive organizme. U organizam životinja i čovjeka dopijeva putem lanaca ishrane. Izvori zagađenja ljudskog organizma Cd su duvanski dim i jestive biljke gajene na poljoprivrednom zemljištu zagađenom Cd. Procjenjuje se da se putem hrane u ljudski organizam dnevno unese 10–35 µg Cd, a putem dima od cigareta oko 10–25 µg Cd (WHO, 2011). U novije vrijeme ističe se opasnost od trovanja djece kadmijumom koji se nalazi u plastičnim jeftinim igračkama i nakitu (WHO, 2019). U ljudskom organizmu biološki poluživot Cd je duži od 30 godina; akumulira se uglavnom u bubrezima i kostima i može izazvati osteoporozu, bolesti bubrega, bolesti srca i rak (EFSA, 2012). Najpoznatije oboljenje uzrokovano izlaganjem Cd, tzv. itai-itai bolest, prvi put je prepoznato u Japanu 1960-ih godina 20. vijeka, a karakteriše ga osteomalecija sa jakim bolom u kostima i bubrežna disfunkcija (Nishijo i sar., 2017). Prema preporukama Svjetske zdravstvene organizacije, dozvoljen mjesečni unos Cd ishranom iznosi 25 mg/kg tjelesne težine; granični nivo u vodi za piće je 3 mg/L; u vazduhu godišnji prosjek može da iznosi 5 ng/m³ (WHO, 2019).

Koncentracije Cd u zemljištu koje su veće od 10 mg/kg smatraju se toksičnim za biljke. Fitotoksičnost zavisi od koncentracije Cd u supstratu, osobina zemljišta i biljne vrste (Adriano, 2001; Shah i sar., 2019). Različite biljne vrste pokazuju različite reakcije na uticaj koncentracija Cd u granicama od 1 µM do 1 mM, u zavisnosti od vremena apsorpcije i distribucije Cd unutar biljnih tkiva i organa (Shah i sar., 2019). Kadmijum ispoljava negativne efekte (Slika 2.) na mnoge životne procese biljaka (Gratão i sar., 2009; Shah i sar., 2019; Haider i sar., 2021).



Slika 2. Kadmijum (Cd) utiče na mnoge životne procese biljaka (orig.)

Biljke posjeduju brojne mehanizme na nivou organa, ćelijskom i molekularnom nivou, koji imaju ulogu u otpornosti i toleranciji povećanih koncentracija PTE u životnoj sredini, izbjegavanju stvaranja viška elemenata u citoplazmi i sprečavanju pojave simptoma toksičnosti (Slika 3.).



Slika 3. Sažeti prikaz mehanizama viših biljaka odgovornih za detoksikaciju i toleranciju potencijalno toksičnih elemenata (PTE); FT-fitoheleatini, MT-metalotioneini, OK-organske kiseline (orig.)

Zadržavanje PTE u korijenu i sprečavanje translokacije u stablo, ekskluzija PTE putem selektivne apsorpcije, izlučivanje fenola iz korijena, poboljšavanje tolerancije na nedostatak nutrijenata i njihovo usvajanje u prisustvu PTE takođe su značajni mehanizmi tolerancije i otpornosti koji omogućavaju opstanak biljaka u sredini zagađenoj PTE. Mehanizmi detoksikacije i tolerancije PTE kod biljaka veoma su raznovrsni. Mogu se podijeliti na dvije glavne kategorije: ekstracelularne i intracelularne mehanizme koji mogu biti polazna osnova za objašnjenje tolerancije PTE na nivou čitavog biljnog organizma (Hall, 2002).

Ekstracelularni mehanizmi obuhvataju ulogu ektomikoriza i ekstracelularnih izlučevina korijena. Biljke koje posjeduju simbiozu sa mikoriznim gljivama imaju veći stepen tolerancije na toksične koncentracije PTE. Ektomikorize koje su karakteristične za drveće i žbunje mogu biti efikasne u ublažavanju negativnih efekata toksičnosti PTE za biljku domaćina.

Ektomikoriza učestvuje u naseljavanju i opstanku drvenastih biljaka na zemljištima zagađenim visokim koncentracijama PTE tako što vezuje metale za hife koje su u simbiozi sa korijenom ili se nalaze u rizosferi. U ovoj situaciji mikorize modifikuju biodostupnost polutanata, poboljšavaju rast biljaka na zagađenim lokalitetima olakšavajući usvajanje nutrijenata, sintetišu supstance koje potiču rast biljaka i povećavaju toleranciju na stres. Mehanizmi kojima mikorize povećavaju toleranciju mogu biti veoma različiti i zavise od specifičnosti i biljne vrste i PTE. Većina mehanizama tolerancije koji se tiču ektomikorize uključuju različite ekskluzivne procese ograničavanja pokretljivosti PTE ka korijenu biljke: apsorpcija PTE hifama gljiva, smanjenje dostupnosti PTE apoplastu biljke usljed hidrofobnosti „barijere“ koju stvaraju gljive, ulogu izlučevina gljiva u helatiranju PTE i adsorpciji na spoljašnjem dijelu micelijuma (Jentschke i Godbold, 2000; Hall, 2002; Varga i sar., 2009; Cicatelli i sar., 2010). Vrbe na svojim korijenovima imaju razvijenu arbuskularnu mikorizu, kao i ektomikorizu. Ova dva tipa mikoriza modifikuju fiziologiju domaćinskih biljaka, utičući na rast, fiziološke parametre i akumulaciju PTE. Ektomikoriza može da obuhvati više od 80% korijenovih dlačica vrba, dok je kolonizacija arbuskularnom mikorizom oko 5% manja. Vrbe su pretežno kolonizovane vrstom *Hebeloma mesophaeum* (Mrnka i sar., 2012). Na primjer, kod *Salix caprea* ektomikoriza ima ulogu korijenske barijere koja onemogućava apsorpciju suviška PTE kao što su Zn, Cu, Cr i Co i doprinosi učešću ove vrste vrbe u prirodnoj obnovi zagađenih lokaliteta (Varga i sar., 2009).

Izlučevine korijena imaju različite uloge u biljnoj toleranciji PTE. Ekstracelularne izlučevine korijena kao što su helati smanjuju dostupnost PTE u zemljištu ili vodi. Sintezom helata može da se poveća usvajanje i pokretljivost određenih PTE, ili, sa druge strane, može doći do smanjenja usvajanja. Organske kiseline, kao što su limunska i jabučna kiselina omogućavaju ekstracelularnu sekvestraciju jona PTE. Ove kiseline vezuju PTE, stvarajući sa njima komplekse i olakšavajući njihov transport ksilemom od korijena ka nadzemnom dijelu (Iori i sar., 2011; Marmioli i sar., 2011; Zacchini i sar., 2011).

Tolerancija Cd na nivou ćelije obuhvata veliki broj intracelularnih mehanizama detoksikacije i otpornosti: imobilizacija u ćelijskom zidu i redukovan ulazak Cd preko plazmaleme, stvaranje helat-ligand kompleksa u citoplazmi, razvoj homeostatskih ćelijskih mehanizama koji regulišu koncentraciju Cd jona u ćeliji, ulogu proteina temperaturnog šoka i aktivno izbacivanje Cd iz citoplazme u apoplast ili vakuolu (kompartimentacija, sekvestracija i biotransformacija) (Hall, 2002; Jung i sar., 2003; Benavides i sar., 2005; Cosio i sar., 2005; Meda i sar., 2007).

Uloga ćelijskog zida kao barijere koja adsorbuje Cd iz zemljišnog rastvora (Ernst i sar., 1992; Bringezu i sar., 1999) i sprečava ulazak u citoplazmu bazira se na njegovoj strukturi i teksturi (Parrotta i sar., 2015). Kako se Cd prvenstveno veže za korijen, građa i molekularna struktura ćelijskog zida ćelija parenhima korijena predstavlja odlučujući parametar zaštitne uloge od toksičnih efekata Cd (Lux, 2010; Parrotta i sar., 2015; Vatehová-Vivodová i sar., 2018). Hemijski sastav ćelijskog zida korteksa korijena ima presudnu ulogu u sprečavanju translokacije Cd od korijena ka nadzemnim organima (Akhter i sar., 2017; Vatehová-Vivodová i sar., 2018), zbog čega se visoka akumulacija u korijenu povezuje sa niskom akumulacijom u listovima (Sun i sar., 2013). Polisaharidi ćelijskog zida igraju presudnu ulogu u vezivanju i akumulaciji PTE (Krzeslowska, 2011; Parrotta i sar., 2015). Međutim, zaštitna uloga ćelijskog zida bazira se i na drugim molekulama zida koje mogu da vežu PTE, uključujući proteine, aminokiseline i fenolna jedinjenja kao što su suberin i lignin (Krzeslowska, 2011). Zidovi ćelija endodermisa i primarne kore korijena imaju visok sadržaj suberina i lignina koji su nepropusni za Cd i povećavaju otpornost prema adsorpciji i translokaciji Cd (Lux, 2010).

Proteini temperaturnog šoka se u povećanim koncentracijama sintetišu kada biljke rastu u temperaturnim uslovima iznad optimalnih vrijednosti. Isto tako, ovi proteini se sintetišu u različitim uslovima stresa izazvanog povećanim koncentracijama PTE u zemljištu. Njihova uloga u mehanizmima zaštite od toksičnog dejstva metala obuhvata povećanje otpornosti membrana kroz poboljšanje mehanizama reparacije oštećenja, unapređujući na taj način toleranciju biljaka na metale kao faktore stresa (Hall, 2002).

Veoma važan mehanizam tolerancije i detoksikacije toksičnih koncentracija PTE kod viših biljaka je stvaranje metalnih helata sa dvije klase peptida, fitohelatinima i metalotioneinima. Fitohelatini se sintetišu pod dejstvom PTE na biljke što je dokazano brojim eksperimentima. Fitohelatini stvaraju stabilni kompleks sa Cd, koji se akumulira u vakuoli, što je jedan od mehanizama kompartmentacije metala. Uloga metalotioneina u detoksikaciji PTE još treba da se rasvijetli, ali su utvrđene činjenice da metali indukuju gene odgovorne za sintezu ovih peptida. Jasno je da metalotioneini, kao i fitohelatini, imaju ulogu u metabolizmu PTE, ali je ona specifična za različite PTE i mogla bi da obuhvati i antioksidativnu i ulogu u reparaciji membrana oštećenih dejstvom PTE (Hall, 2002; Schat i sar., 2002).

Značajan mehanizam detoksikacije i tolerancije PTE je vakuolarna kompartmentacija. Ovaj mehanizam obuhvata transport elemenata u vakuolu preko transportnih sistema tonoplasta. U vakuoli se elementi, npr. Zn i Cd, vezuju za ligande kao što su fitohelatini i time se izoluje njihovo toksično dejstvo. Dobro je proučen transport Cd putem Cd/H⁺ antiporta i ABC transportera zavisnog od ATP-a, koji se nalaze u tonoplastu. Istovremeno sa akumulacijom Cd, u vakuoli dolazi do nakupljanja fitohelatina koji stvaraju stabilan, netoksičan kompleks sa Cd. Ovaj mehanizam tolerancije je specifičan, jer se aktivira u prisustvu određenih PTE. Potencijalno toksični elementi indukuju ekspresiju gena odgovornih za sintezu katjonskih transportera, čime se povećava tolerancija na PTE (Cd, Zn, Mo i Pb) i njihova sekvestracija u vakuoli (Mishra i Dubey, 2006; Grennan i Notes, 2009).

Opisani mehanizmi su specifični za PTE, a takođe postoji mogućnost da je više mehanizama uključeno u redukciju toksičnosti pojedinog PTE (Hall, 2002; Jung i sar., 2003; Benavides i sar., 2005; Cosio i sar., 2005; Meda i sar., 2007).

2.5. Uloga vegetativnih organa vrba u usvajanju, akumulaciji i transportu kadmijuma

Kadmijum nema poznatu biološki esencijalnu ulogu u biljkama (Gallego i sar., 2012; Alloway, 2013; Dowidar i sar., 2013). Simptomi toksičnosti Cd kod biljaka se ispoljavaju na morfološkom, anatomskom (Lux i sar., 2004; Vaculík i sar., 2012; El Rasafi i sar., 2020) i fiziološko-biohemijskom nivou (Küpper i Andresen, 2016; El Rasafi i sar., 2020). Toksičnost Cd na fiziološko-biohemijskom nivou dešava se nefunkcionalnim vezivanjem Cd za enzim Rubisko i hlorofile, u čijim aktivnim centrima zamjenjuje Mg²⁺ i dovodi do stvaranja nestabilnih kompleksa koji se brzo razgrađuju (Küpper i Andresen, 2016). Toksični efekti Cd na anatomiju i morfologiju biljnih organa su složeni, s obzirom na razlike u strukturi između organa, njihov kapacitet akumulacije i dinamiku izloženosti Cd (Sebastiani i sar., 2014). Najčešći efekti toksičnog dejstva Cd i drugih PTE ogledaju se u vidu smanjenog rasta korijena i nadzemnih organa, pojave hloroze i nekroze biljnih tkiva, deficita nutrijenata, inhibicije sinteze fotosintetičkih pigmenta i enzima, redukcije transpiracije, pojave oksidativnog stresa, a na kraju mogu dovesti i do smrti biljaka (Alloway, 2013; Liu i sar., 2018).

Povećan sadržaj Cd u rizosferi uzrokuje njegovu i do 10 puta veću akumulaciju u korijenu vrba u odnosu na nadzemne organe (Lux i sar., 2004; Liu i sar., 2011; Borišev i sar., 2012; Luković i sar., 2012; Tózsér i sar., 2017) što predstavlja mehanizam „isključenja“ ili ekskluzije,

kojim se Cd zadržava na nivou korijena i ograničava njegova translokacija ka nadzemnim organima (Maestri i sar., 2010; Lux i sar., 2011).

Seregin i Kozhevnikova (2008) podijelili su tkiva korijena na šest funkcionalnih grupa, na osnovu detaljne analize njihove uloge u transportu i akumulaciji različitih elemenata. Prvu grupu čini apsorbujuće tkivo odnosno rizodermis. Drugu grupu čine endodermis i egzodermis koji funkcionišu kao barijere radijalnom transportu elemenata. Treću grupu čine tkiva koja akumuliraju elemente. Glavno tkivo sa ovom ulogom je višeslojna primarna kora korijena. Visokim kapacitetom akumulacije metala se odlikuju i pericikl i korijenova kapa. U četvrtoj grupi nalazi se pericikl koji prikuplja jone transportovane simplastom, ali nema značaj za jone koji se transportuju apoplastom i čiji transport ka ksilemu sprečava endodermis. U petoj grupi su tkiva koja transportuju metale između različitih biljnih organa i tkiva, a to su floem i ksilem. Na kraju, u šestoj grupi su tkiva koja akumuliraju jone elemenata. To su tkiva vrha korijena (meristem, zona diobe i zona izduživanja ćelija), kao i tkivo korijenove kape.

Prema Seregin i Kozhevnikova (2008), sluzni sekretori koje luče korijenova kapa i ćelije rizodermisa, sastavljeni pretežno od ugljenih hidrata, imaju značajnu ulogu u vezivanju metala i ograničavanju njihovog ulaska u korijen. Na taj način mucilageni (sluzni) sloj funkcionise kao akumulator metala, čije fizičko-hemijske osobine određuju njihov afinitet vezivanja za funkcionalne grupe ugljenih hidrata. Što se metali jače vežu za sluzne sekrete to je sporiji njihov priliv u korijen. Karboksilne i hidrosilne funkcionalne grupe ugljenih hidrata mucilagenog sloja pokazuju afinitet za vezivanje katjona metala u opadajućem nizu $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+}$. Metali koji uđu u ćelije korijenove kape imaju različitu distribuciju: Ni se pretežno akumuliraju u protoplastu, dok drugi metali ostaju uglavnom u apoplastu. Na distribuciju metala u ćelijama korijenove kape značajno utiče kalcijum što se dovodi u vezu sa takmičenjem za zajednička mjesta vezivanja tokom ulaska i transporta jona u korijen.

Distribucija metala u apikalnom meristemu korijena i zoni izduživanja prvenstveno zavisi od strukturnih i fizioloških osobina meristemskih ćelija, dok su fizičko-hemijske osobine metalnih jona od manjeg značaja. Posebno je značajna mala dimenzija ovih ćelija. Sadržaj metala izražen po jedinici zapremine biće mnogo veći u malim meristemskim nego zrelim ćelijama korijena, a time će i toksični uticaj biti veći. Distribucija metala u meristemu takođe zavisi od prisustva drugih jona, od kojih je Ca^{2+} najznačajniji (Seregin i Kozhevnikova, 2008). Zbog toga se apikalni region korijena smatra mjestom aktivne apsorpcije i usvajanja Cd, a njegova redukcija strategijom odbrambene adaptacije koja štiti meristem korijena od toksičnog dejstva Cd (Balestri i sar., 2014)

Rizodermis ima ulogu u apsorpciji jona metala i posjeduje dobro razvijen sistem membranskih transportera. Prisustvo korijenskih dlaka nije preduslov za ulazak metala u korijen, ali je njihovo formiranje značajno sa aspekta višestrukog povećavanja površine korijena koja je u kontaktu sa zemljištem i ubrzavanjem usvajanja jona metala (Seregin i Kozhevnikova, 2008). Korijenove dlake sadrže značajne količine teških metala, posebno kod biljaka iz grupe ekskludera (Seregin i Kozhevnikova, 2008). Pod uticajem metalnog stresa dolazi do stvaranja korijenovih dlaka bliže vrhu korijena, povećanja njihovog broja i ubrzanog procesa suberinizacije ćelijskih zidova rizodermisa, čime se povećava apsorpcioni kapacitet biljke i spriječava gubitak vode iz kortikalnih ćelija uzrokovan povećanim koncentracijama metala (Seregin i Kozhevnikova, 2008; Balestri i sar., 2014).

Primarna kora (korteks) korijena, izgrađena od parenhimskih ćelija je sa najvećim udjelom u anatomskoj strukturi korijena, zbog čega njene ćelije mogu akumulirati velike količine metala. Višeslojni korteks povećava dijаметar, a time i površinu korijena, što je sa funkcionalnog gledišta značajno za vezivanje jona metala (Seregin i Kozhevnikova, 2008).

Anatomske adaptacije korijena biljaka gajenih u prisustvu povećanih koncentracija Cd obuhvataju promjene u veličini, obliku i rasporedu ćelija kortikalnog parenhima, uz stvaranje širokih intercelulara, što doprinosi većem kapacitetu akumulacije metala u korijenu i manjem transportu ka nadzemnim organima (Gomes i sar., 2011). Međutim, intracelularna distribucija metala u kortikalnim ćelijama se razlikuje za pojedine metale. Joni Cd se transportuju apoplastom, zbog čega apoplastni kapacitet kortikalnih ćelija korijena ima najznačajniju ulogu u njihovoj akumulaciji i translokaciji. Kadmijum koji se vezuje u apoplastu korteksa korijena izaziva zadebljanje i lignifikaciju zidova kortikalnih ćelija, što predstavlja anatomsku adaptaciju uslovljenu toksičnošću Cd. Kapacitet ćelijskih zidova korteksa da vežu Cd predstavlja svojevrsnu zaštitu protiv štetnih efekata Cd i od značaja je u održavanju vodnog balansa i sprečavanju gubitka vode (Gomes i sar., 2011; Weng i sar., 2012). Apoplastni kapacitet ima određenu ulogu u toleranciji biljaka na teške metale. Zato se vezivanje metala za ćelijske zidove kortikalnih ćelija korijena može smatrati morfofiziološkim mehanizmom detoksikacije, koji odvaja (sekvestruje) metal u ćelijskim kompartmentima male metaboličke aktivnosti i ograničava ulazak metala u citoplazmu. Kortikalne ćelije imaju veoma značajnu ulogu da akumuliraju jone Cd u apoplastu, dok je manje značajna akumulacija jona u simplastu. Ova sposobnost zavisi od anatomskih osobina korena pojedinih biljnih vrsta, fizičko-hemijskih osobina jona metala, afiniteta i jačine vezivanja za ćelijske zidove korteksa, brzine kretanja kroz korijen i sposobnosti jona da se transportuju kroz membrane i akumuliraju u protoplastu (Seregin i Kozhevnikova, 2008). Uloga korteksa korijena vrba u akumulaciji Cd potvrđena je pronalaskom depozita ovog metala u korijenovima *Salix × jiangsuensis* 'J172' (Chen i sar., 2013), *Salix babylonica* var. *matsudana* (Yang i sar., 2015; Wu i sar., 2017), *Salix alba* '68/53/1' i *Salix nigra* '0408' (Hrkić Ilić i sar., 2020).

Biljke su razvile različite mehanizme kojima ograničavaju ulazak Cd u ksilem korijena. Jedna od njih je razvoj egzodermisa i endodermisa, fizičkih barijera koji ograničavaju radialni transport metala kroz korteks korijena (Enstone i sar., 2003; Gomes i sar., 2011; Lux i sar., 2011). Uloga endodermisa i egzodermisa zavisi od osobina metala, njihove koncentracije i toksičnosti, kao i stadijuma ćelijskog razvoja i strukturnih osobina ovih tkiva kod različitih biljnih vrsta (Seregin i Kozhevnikova, 2008; Gomes i sar., 2011; Lux i sar., 2004, 2011). Izolacija centralnog cilindra od perifernih ćelijskih slojeva korijena je kritični faktor kontrole transporta metalnih jona u nadzemni dio biljke. Endodermis odvaja primarnu koru od centralnog cilindra, a ekstracelularno (apoplastno) kretanje Cd prema ksilemu ograničeno je suberinom deponovanim u ćelijskim zidovima endodermisa. Impregnacija ćelijskih zidova endodermisa suberinom, odsustvo intercelulara između endodermalnih ćelija, kao i čvrsta veza između ćelijskih zidova, stvaraju apoplastnu barijeru u korijenu. Kada je korijen izložen visokim koncentracijama PTE, apoplastne barijere razvijaju se bliže vrhu korijena. Formiranje endodermisa bliže vrhu korijena može u tom slučaju biti posljedica smanjene brzine izduživanja korijena, ali i ubrzanog razvoja endodermisa (Lux i sar., 2011).

Različiti klonovi *Salix* sp. imaju različite osobine akumulacije, translokacije i osjetljivosti na Cd, koje su povezane sa anatomskim karakteristikama korijenova. Klonovi sa malom akumulacijom i velikom tolerancijom na Cd imaju manju meristemsku zonu i izraženiju vakuolizaciju ćelija korijenovog vrha nego klonovi koji se karakterišu velikom akumulacijom i velikom osjetljivošću na Cd. Razvoj endodermalnog Kasparijevog pojasa kod klonova koji se karakterišu velikom akumulacijom Cd odvija se na većoj udaljenosti od vrha korijena nego kod klonova sa malom akumulacijom. Takođe, suberinske lamele su udaljenije od vrha korijena kod klonova sa velikom translokacijom Cd, u poređenju sa onim sa malom translokacijom. Ovo ukazuje da apoplastno kretanje Cd prema centralnom cilindru i translokacija ka nadzemnim organima mogu varirati prema anatomiji endodermisa. Proporcija

korijenovih apoplastnih barijera, egzodermisa i endodermisa, kao i rizodermisa u odnosu na druga tkiva korijena, značajno je veća kod klonova sa visokom tolerancijom na Cd, ukazujući na značaj ovih tkiva u zaštiti od toksičnih efekata Cd (Lux i sar., 2004). Pored genotipskih razlika u akumulaciji i toleranciji metalnih jona, stepen zagađenosti zemljišta utiče na razlike u dinamici obrazovanja Kasparijevog pojasa kao npr. kod dva izolata *Salix caprea*, F20 i KH21 (Vaculik i sar., 2012).

Kod većine skrivenosjemenica paralelno sa endodermisom se razvija druga apoplastna barijera, egzodermis, obično na većoj udaljenosti od vrha korijena u odnosu na endodermis (Lux i sar., 2011). Stvaranjem Kasparijevog pojasa u egzodermisu omogućena je njegova uloga u regulaciji transporta materija iz spoljašnje sredine u ćelije korijena (Hose i sar., 2001). Promjene u anatomskoj strukturi korijena indukovane prisustvom Cd, uključujući zadebljanje i lignifikaciju ćelijskih zidova endodermisa i nedostatak ćelija propusnica, zadebljanje ćelijskih zidova pericikla i formiranje peri-endodermisa, sugerišu da transport Cd od korijena do listova može biti odložen formiranjem Kasparijevog pojasa u endodermisu na početku ontogeneze korijena, a kasnije zadebljanjem ćelijskih zidova endodermisa i pericikla (Alle i sar., 2016). Zadebljali ćelijski zidovi apoplastnih barijera omogućavaju efikasnije zadržavanje jona metala u korijenu i smanjenu translokaciju ka stablu putem apoplasta. Glavna uloga pericikla korijena je redistribucija jona duž dijametra centralnog cilindra korijena, akumulacija i transport metala u vaskularni sistem, zavisno od strukturnih osobina ćelija pericikla i specifičnosti transporta teških metala. U uslovima povećanih koncentracija Cd u korijenu dolazi do povećanja broja traheja, zadebljanja njihovih ćelijskih zidova i redukcije površine metaksilema, što pruža veću efikasnost u usvajanju vode u uslovima stresa (Gomes i sar., 2011).

Navedene analize anatomskih i histoloških promjena korijena vrba u odnosu na prisustvo, akumulaciju i transport Cd, odnosile su se na primarnu anatomsku građu. Podaci o strukturnim promjenama sekundarne građe korijena vrba pod tretmanom Cd veoma su oskudni i nedovoljno istraženi, iako ukazuju na značaj sekundarnog ksilema korijena u njegovoj akumulaciji (Vaculik i sar., 2012). Varijabilnost i prilagodljivost korijena različitih klonova vrba na abiotički stres može se analizirati na osnovu varijacija u anatomiji ksilema i dimenzijama traheja koje utiču na teorijsku hidrauličku provodljivost korijena i cjelokupan rast biljaka (Doffo i sar., 2017; Loval i sar., 2018).

Kadmijum, koji korijen usvaja putem apoplasta ili simplasta, ksilemom se transportuje i akumulira u nadzemnim vegetativnim organima, stablu i listovima, koji predstavljaju značajno skladište PTE (Olowu i sar., 2015; Tózsér i sar., 2017; Yang i sar., 2021). Za razliku od zeljastih biljaka hiperakumulatora, drvenaste biljke kao što su vrbe nemaju sposobnost hiperakumulacije, što nadoknađuju visokom produktivnošću nadzemne biomase (Labrecque i Teodorescu, 2003; Pulford i Dickinson, 2006; Tlustoš i sar., 2007) sa kojom iznose oko 100-250 mg/kg Cd iz zagađenog zemljišta (Landberg i Greger, 1996; Robinson i sar., 2000; Dos Santos Utmazian i sar., 2007; Unterbrunner i sar., 2007). Akumulacija Cd i drugih elemenata u pojedinim vegetativnim organima vrba odvija se po opštem obrascu korijen > listovi > stablo (Klang-Westin i Eriksson, 2003; Riddel-Black, 1994; Robinson i sar., 2000; Maxted i sar., 2007) iako vertikalna distribucija elemenata zavisi i od vrste elementa i biljne vrste (Rosselli i sar., 2003; Kacálková i sar., 2009). Tako više autora navodi da se usvojeni Cd akumulira uglavnom u korijenu vrba, a samo mali dio transportuje u stablo (Maruti Sridhar i sar., 2005; Liu i sar., 2011; Lux i sar., 2011; Luković i sar., 2012). S druge strane, Tózsér i sar. (2017), na osnovu meta-analize dostupnih podataka o stepenu akumulacije metala u vegetativnim organima vrba, zaključuju da ne postoji značajna razlika u akumulaciji Cd u tkivima korijena, stabla, izbojaka i listova vrba, za razliku od npr. Pb i Zn čiji se stepen akumulacije značajno razlikuje među nadzemnim organima. Sadržaj Cd u vegetativnim nadzemnim dijelovima vrba

opada u nizu listovi > mrtva kora > jednogodišnji izdanci > primarno i sekundarno drvo (Zárubová i sar., 2015; Kubátová i sar., 2018). U sastojinama vrsta *Salix fragilis* L. i *Salix triandra* L., gajenim u poljskim uslovima na zagađenom sedimentu, najviše koncentracije Cd nalazile su se u listovima u poređenju sa sekundarnim drvetom i mrtvom korom, a takođe su bile konsekvantno veće u mrtvoj kori nego u drvetu (Mertens i sar., 2006). Nekoliko istraživanja ističe upravo veću ulogu mrtve kore vrba u akumulaciji Cd u odnosu na drvo (Maxted i sar., 2007; Harada i sar., 2010; Jama-Rodzeńska i Nowak, 2012; Zárubová i sar., 2015), što je povezano sa mobilnošću jona Cd i ulogom floema, koji sadrži tiolne peptide kao nosače metala, u redistribuciji metalnih jona i transportu na veća rastojanja, između pojedinih organa (Yadav, 2010; Álvarez-Fernández i sar., 2014). Kao potvrda, navode se veće koncentracije Cd izmjerene u mrtvoj kori u odnosu na drvo kod vrsta *Salix viminalis*, 1,13 mg/g > 0,35 mg/g (Adler i sar., 2005) i *Salix acutifolia* Wild., 0,25 do 0,84 ppm > 0,09 do 0,22 ppm (Waliszewska i sar., 2015). Kod visoko-produktivnih klonova vrba [*Salix schwerinii* × *Salix viminalis*] × *Salix viminalis* i *Salix* × *smithiana* klon ‘S-218’ veće koncentracije Cd nađene su u mrtvoj kori, u opsegu 94,3 do 171,75 mg/kg u odnosu na drvo u kojem su se kretale od 34,89 do 73,12 mg/kg (Zárubová i sar., 2015; Kubátová i sar., 2018). Međutim, malo se zna o mehanizmima koji dovode do premještanja metala u drvo i mrtvu koru. Akumulacija metala je povezana sa suvom masom peridermisa, sekundarnog floema i sekundarnog drveta, brojem izdanaka na stablu i različitim osobinama klonova vrsta iz familije Salicaceae. S obzirom da nastaju tokom svakog vegetacionog perioda, kora i drvo mogu da predstavljaju značajan rezervoar metala (Gu i sar., 2007; Sugier i Sugier, 2010; Marmioli i sar., 2011). Mikrorendgenska fluorescencija segmenata stabla šest japanskih vrsta vrba pokazala je da mrtva kora, felogen, feloderm i floem predstavljaju glavna tkiva stabla u kojima se akumuliraju Cd (Harada i sar., 2010).

Podaci o ulozi pojedinih tkiva stabla drvenastih vrba u transportu i akumulaciji Cd su malobrojni, iako biomasa njihovog sekundarnog drveta predstavlja značajno skladište metala (Pulford i Dickinson, 2005). Različiti genotipovi vrba ispoljavaju značajnu varijabilnost i plastičnost anatomskih i hidrauličkih karakteristika sekundarnog drveta (Loyal i sar., 2018; Özden Keleş, 2021). Drvo objedinjuje funkcije transporta i skladištenja vode i nutrijenata (Tyree i Yang, 1990; Tyree i Ewers, 1991; Jupa i sar., 2016), neophodnih za opstanak vrba koje se kao pionirske vrste i freatofite suočavaju sa promjenljivim uslovima životne sredine (Dos Santos Utmazian i sar., 2007; Hangs i sar., 2011). S vodom kao glavnim limitirajućim faktorom u produkciji biomase vegetativnih organa vrba (Lindroth i Cienciala, 1996; Kuzovkina i Quigley, 2005; Hajek i sar., 2014; Rucińska-Sobkowiak, 2016) akumuliraju se značajne koncentracije Cd (Nylund, 2003; Dos Santos Utmazian i sar., 2007; Borišev i sar., 2009; Zacchini i sar., 2009; Harada i sar., 2010). U vezi sa tim, visoka hidraulička efikasnost ksilema neophodna je za održavanje visoke produktivnosti (Tyree, 2003). Hidraulička provodljivost i efikasnost ksilema drvenastih vrsta u transportu vode određena je brojem, gustinom, površinom i dijametrom traheja (Tyree i Ewers, 1991; Hajek i sar., 2014; Ziemska i sar., 2015; Barotto i sar., 2017). Komparativna analiza korijena i stabla radi utvrđivanja razlika u anatomiji i hidrauličkim osobinama ksilema značajna je sa više aspekata. Važna strukturna karakteristika drvenastih biljaka je longitudinalna i radijalna varijacija u anatomiji ksilema tj. opadanje gustine i povećanje dijametra traheja u radijalnom pravcu od srži ka kori (Tyree i Ewers, 1991; Tyree, 2003; Christensen-Dalsgaard i sar., 2008; Li i sar., 2016), ali i suprotne promjene u aksijalnom pravcu od korijena ka izdancima (Tyree i Zimmermann, 2002). Istraživanja su ukazala da je ksilem vrba posebno podložan kavitaciji i emboliji (Ogasa i sar., 2013; Li i sar., 2016). Povećanje gustine traheja u stablu dovodi do povećanja obima ksilema (Schuldt i sar., 2013) i može da se dovede u vezu sa povećavanjem vodnog kapaciteta kojim se djelimično kompenzuje veća podložnost stabla ksilemskoj emboliji (Li i sar., 2016).

Listovi vrba su osjetljiv indikator prisustva povećanih koncentracija PTE u zemljištu i vazduhu koji direktno utiču na fotosintezu. List vrba posjeduje kapacitet akumulacije Cd u koncentracijama višim nego u stablu (Zacchini i sar., 2007; Borišev i sar., 2009; Luković i sar., 2012) npr. i do 315 mg/kg u listovima *Salix dasyclados* (Dos Santos Utmazian i sar., 2007). Radi poređenja, kod šest različitih genotipova *Salix sp.* prosječna koncentracija Cd iznosila je 10,1 mg/kg u listovima i 9,0 mg/g u stablu (Maxted i sar., 2007). Slično tome, kod pet klonova vrba, *Salix dasyclados* 'Loden', *Salix triandra* 'Noir de Villaines', *Salix fragilis* 'Belgisch Rood', *Salix purpurea* × *Salix daphnoides* 'Bleu', *Salix schwerinii* 'Christina', koncentracije Cd u stablu su se kretale u opsegu od 3,9 do 39,5 mg/kg, dok su u listovima koncentracije bile više i varirale između 7,1 i 103,0 mg/kg (Meers i sar., 2007). Takođe, zabilježena je veća koncentracija, od 5,2 do 14,6 µg/g u listovima u odnosu na stablo *Salix fragilis*, gdje je iznosila 3,5 do 8,8 µg/g (Luković i sar., 2012). Uslijed transpiracije, koncentracija elemenata u ksilemskom soku listova može se konstantno povećavati (Sterckeman i Thomine, 2020).

Iz tog razloga, mehanizmi koji ograničavaju štetne efekte PTE moraju se brzo aktivirati u listovima biljaka koje akumuliraju metale, da bi se održala efikasna fotosintetička aktivnost i transpiracioni tok. Među ovim mehanizmima, skladištenje PTE na nivou ćelije (u vakuoli) ili tkiva (trihome, snopići), smatraju se reakcijama tolerancije kojima se mogu izbjeći ili ograničiti štetni efekti Cd na rast i fiziologiju lista (Pietrini, 2008). Da bi spriječile negativan uticaj viška PTE, biljke su takođe razvile mehanizme „rasterećenja“ ksilema u listovima, translokacijom i akumulacijom jona elemenata u ostala tkiva lista. Ovi mehanizmi su aktivni u lisnim nervima i učestvuju u transportu elemenata simplastom kroz tkiva lista (Sterckeman i Thomine, 2020). Međutim, dostupno je vrlo malo informacija o transportnim sistemima odgovornim za izlazak Cd iz ksilema. Vollenweider i sar. (2006) su zapazili promjene u strukturi floema listova vrba, što sugerira da se retranslokacija Cd dešava putem floema. Mobilnost teških metala u floemu ima presudnu ulogu u redistribuciji mikronutrijenata i polutanata. Smatra se da je kod vrba odsustvo sinteze fitohelatina povezano sa smanjenom pokretljivošću Cd unutar i između ćelija što može ograničiti njegovu difuziju i smanjiti oštećenja lista (Pietrini, 2008).

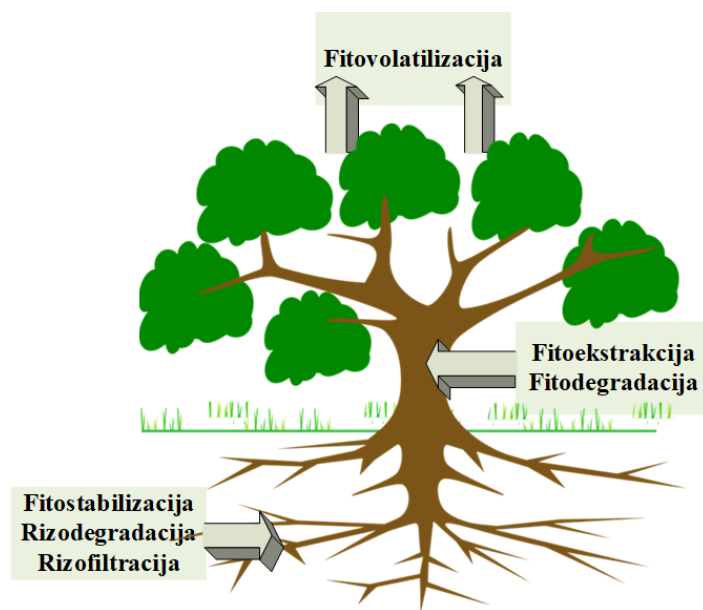
I pored toga što su dostupni podaci koji ukazuju na ulogu histoloških i mikromorfoloških parametara lisne vrba u akumulaciji Cd, oni se ipak odnose na mali broj genotipova (Cosio i sar., 2006; Vollenweider i sar., 2006; Harada i sar., 2010; Luković i sar., 2012). Kod vrste *Salix viminalis* Cd je detektovan na vrhu i duž oboda mladih listova (Cosio i sar., 2006). Na zupcima na obodu listova vrba prisutne su žlijezde loptastog oblika ili tzv. salikoidni zupci (Boucher i sar., 2003; Wilkinson, 2007). Harada i sar. (2011) su snimanjem listova *Salix miyabeana* tehnikom fluorescencije bazirane na sinhrotronoj radijaciji mikro X-zracima došli do podataka da zupci na obodu lisne imaju ulogu u akumulaciji, ali ne i u izlučivanju Cu, Zn, Cd i Pb. U starijim listovima *Salix viminalis* Cd je lokalizovan pri osnovi listova (Cosio i sar., 2006). Pojedina tkiva listova vrste *Salix viminalis* akumulirala su Cd na specifičan način, pri čemu se vezivanje Cd za ćelijske zidove dešava po redoslijedu kolenhim > parenhim korteksa > ksilem centralnog nerva. Pektinom bogati ćelijski zidovi kolenhima lisnih nerava imaju glavnu ulogu u skladištenju Cd (Vollenweider i sar., 2006). Ulogu mehaničkog tkiva lista *Salix viminalis* u kompartmentaciji Cd i zaštiti fotosintetskog parenhima isto su potvrdili Günthardt-Goerg i Vollenweider (2007), koji su detektovali Cd akumulisan u ćelijskim zidovima kolenhima koji okružuje lisne nerve i na taj način udaljen od metabolički aktivnijih tkiva lista. Akumulacija Cd u ćelijskim zidovima kolenhima lisnih nerava je zaista važan mehanizam tolerancije Cd koji smanjuje njegovo toksično dejstvo (Cosio i sar., 2006; Vollenweider i sar., 2006). Mali depoziti Cd pronađeni su u klorenhimu, dok je simplastni Cd zapažen u floemu lista (Vollenweider i sar., 2006).

Različita makro- i mikrolokalizacija Cd između mlađih i starijih listova pripisana je u ontološkoj i fiziološkoj razlici između ovih listova. Mladi listovi tek razvijaju sopstveni mehanizam fotosinteze. Zato u odnosu na starije listove imaju veće potrebe za nutrijentima koji se transportuju u tkivo lista preko transpiracionog toka, koji takođe transportuje i metale. U mladim listovima lisni nerv koji ima ulogu u skladištenju metala je manjih dimenzija i nižeg kapaciteta vezivanja Cd za ćelijski zid u poređenju sa starijim listovima, zbog čega su njegova tkiva i ćelijski kompartimenti izloženiji stresu izazvanim prisustvom Cd (Vollenweider i sar., 2006). Lokalizacija Cd na vrhovima i obodima mladih listova može se objasniti većim transpiracionim tokom koji doprema Cd do njih kao krajnjih mjesta transpiracije. Fotosintetički aparat je posebno osjetljiv na toksičnost Cd i akumulacija Cd na obodu mladih listova iz tog razloga može pomoći u njegovoj zaštiti. Nasuprot tome, u starijim listovima transpiracioni tok u listovima je redukovan i Cd ne dolazi do oboda lista (Cosio i sar., 2006; Vollenweider i sar., 2006; Günthardt-Goerg i Vollenweider, 2007). Najveći kapacitet sekvenciranja Cd u liskama vrste *Salix viminalis* imaju zadebljali ćelijski zidovi kolenhima i provodni snopići zrelih listova što je potvrdilo histohemijsko detektovanje radioaktivno označenog Cd (Cosio i sar., 2006; Vollenweider i sar., 2006).

2.6. Fitoremedijacija: tehnike, prednosti, nedostaci i noviteti

Remedijacija, prečišćavanje i obnavljanje lokaliteta zagađenih PTE predstavlja problem od najvećeg prioriteta u mnogim zemljama svijeta, zbog sve većeg negativnog dejstva koje ovi polutanti imaju na lance ishrane, izvore vode, zemljiše, vazduh i zdravlje kao i dobrobit svih živih organizama (Pulford i sar., 2002; Schwitzguébel i sar., 2011; Awa i Hadibarata, 2020). Metode remedijacije zemljišta se mogu podijeliti na fizičke, hemijske i biološke. Fizičke i hemijske metode remedijacije u velikoj mjeri doprinose prečišćavanju zemljišta, ali su tehnički komplikovane, skupe i dugo traju. Pored toga mogu da dodatno naruše prirodnu mikrofloru zemljišta i izazovu nepovratnu degradaciju plodnosti, pH i drugih fizičko-hemijskih osobina zemljišta (Pulford i Dickinson, 2005; Dickinson, 2006; Tangahu i sar., 2011; Khalid i sar., 2017; Awa i Hadibarata, 2020). Hemijske metode mogu uzrokovati problem sekundarnog zagađenja u vidu nastanka i potrebe odlaganja otpadnih muljeva sa visokim sadržajem metala (Sheoran i sar., 2011; Wuana i Okieimen, 2011; Awa i Hadibarata, 2020). Danas se u svijetu sve više radi na razvoju i unapređenju biološke remedijacije (bioremedijacije), kao ekonomski isplativog, neinvazivnog i trajnog postupka uklanjanja PTE iz zagađenog zemljišta (Khalid i sar., 2017). Bioremedijacija obuhvata više tehnologija: upotrebu mikroorganizama, dodavanje biološkog ugljena dobijenog pirolizom, fitoremedijaciju, tehnologije genetskog inženjeringa i biohemijske tehnologije (Ye i sar., 2017). Ovakve tehnologije se zasnivaju na prirodnim procesima i imaju višestruka ekološka, ekonomska i društvena preimućstva, zbog čega su poznate kao rješenja zasnovana na prirodi ili rješenja inspirisana prirodom (engl. *nature based-solutions*, NBS) (European Commission, 2017; Song i sar., 2019).

Fitoremedijacija predstavlja jednu od najkorisnijih tehnologija bioremedijacije koja upotrebljava biljke kao biološku komponentu za prečišćavanje zagađene životne sredine (Slika 4., Tabela 1.). Naziv fitoremedijacija potiče od grčkog prefiksa *fito* - biljka i latinskog sufiksa *remedium* - čišćenje, obnavljanje (Tangahu i sar., 2011; Jagdale i Chabukswar, 2016). Upotrebu termina fitoremedijacija uvela je Američka agencija za zaštitu životne sredine (EPA) 1991. godine, a prvi put su ga u literaturi 1993. godine upotrijebili Cunningham i Berti (1993). Fitoremedijacija je prirodom inspirisano rješenje, koje koristi prirodne ili genetički modifikovane biljne organizme i mikroorganizme rizosfere za prečišćavanje kontaminisanih zemljišta, mulja, sedimentata, vazduha i voda (Cunningham i sar., 1997; Pillon-Smits, 2005; Helmisaari i sar., 2007; Cioica i sar., 2019; Song i sar., 2019).



Slika 4. Šematski prikaz tehnika fitoremedijacije

Prema Međunarodnom Fitotehnoškom Društvu (International Phytotechnology Society, 2019), fitoremedijacija predstavlja skup fitotehnologija koje „koriste biljke u cilju apsorpcije zagađivača iz zemljišta ili vode“. Fitoremedijacija je tokom zadnjih nekoliko decenija stekla veliku popularnost jer je estetski prihvatljiva i manje narušava životnu sredinu od tradicionalnih fizičko-hemijskih tehnika remedijacije. Efikasna je u uklanjanju neorganskih i organskih kontaminanata, isplativa i lako se primjenjuje na zagađenom lokalitetu. Biomasa produkovana u fitoremedijaciji može da se iskoristi kao energetski izvor za proizvodnju biogoriva (Tangahu i sar., 2011; Koptsik, 2014; Song i sar., 2019). Može se primijeniti *in situ* i *ex situ*, na udaljenim lokalitetima, za jedan ili više zagađivača, u kombinaciji sa drugim metodama remedijacije. Fitoremedijacija takođe pozitivno doprinosi kontroli erozije zemljišta, oticanja površinskih voda, klimatskih promjena kroz sekvestraciju CO₂ i gasova staklene bašte, a povećava i estetsku funkciju obnovljenih staništa (Russell, 2005; Aisien i sar., 2013).

Kao „zelena fitotehnologija“, fitoremedijacija se sastoji se od nekoliko različitih tehnika ili metoda (Tabela 1.), od kojih svaka ima drugačiji mehanizam remedijacije zagađenog zemljišta, sedimenta i vode, prednosti i nedostatke (Tangahu i sar., 2011; Wani i sar. 2011; Koptsik, 2014; Awa i Hadibarata, 2020; Shmaefsky, 2020).

Tehnologije fitoremedijacije imaju i svoja ograničenja i nedostatke: teško prilagođavanje izabranih vrsta na nepovoljne karakteristike zemljišta i neoptimalne klimatske uslove, primjena invazivnih biljnih vrsta može negativno uticati na biodiverzitet, zahtijeva dug vremenski period, od 5 do 10 godina za uspješno izvođenje, ograničavaju je nedovoljna rastvorljivost i biološka dostupnost PTE, a u slučaju nedovoljne razvijenosti korijena, biljka ne može da dopre do zagađenja (Pilon-Smits, 2005; Tangahu i sar., 2011; Sharma i Pandey, 2014).

Fitoremedijacija kao rješenje zasnovano na prirodi ima održiv potencijal prečišćavanja zagađenja, koji zahtijeva kontinuirano istraživanje i bolje razumijevanje, u cilju efikasnog upravljanja životnom sredinom i smanjenja kontaminacije u vodama, zemljištu, sedimentima i vazduhu (Tangahu i sar., 2011; Song i sar., 2019). Iz tog razloga, konstantno se radi na poboljšanju efikasnosti fitoremedijacije.

Tabela 1. Osobine, prednosti i nedostaci tehnika fitoremedijacije

Tehnika fitoremedijacije	Prednosti	Nedostaci
Fitоекstrакција: poznata i kao fitoakumulacija, zasniva se na apsorpciji polutanata iz zemljišta putem korijena i njihovoj translokaciji i akumulaciji u nadzemnim biljnim organima (Ghori i sar., 2016; Raza i sar., 2020).	Jeftina, trajno uklanja kontaminante iz zemljišta, omogućava recikliranje kontaminanata iz uklonjene biomase biljaka (Ghori i sar., 2016; Raza i sar., 2020).	Ograničavaju je nedovoljna biodostupnost kontaminanta u rizosferi, kao i nedovoljno razvijena sposobnost korijenovog sistema da usvaja, akumulira i premješta kontaminante u nadzemne organe (Meyerholt, 2013; Ghori i sar., 2016.).
Fitostabilizacija: poznata je i pod nazivom fitosekvestracija ili fitodepozicija, zasniva se na imobilizaciji zagađivača u zemljištu i podzemnoj vodi putem apsorpcije i akumulacije u korijenu, adsorpcije na površini korijena ili precipitaciji u rizosferi (Bolan i sar., 2011; Raza i sar., 2020).	Veoma je efikasna u slučaju potrebe za brzom imobilizacijom kontaminanta u podzemnoj i površinskoj vodi; redukuje eroziju kontaminisanog zemljišta (Kumpiene i sar., 2007; Bolan i sar., 2011).	Kontaminanti ostaju u zemljištu; zahtijeva ekstenzivno đubrenje ili dodavanje materijala koji poboljšavaju strukturu zemljišta, potreban je obavezan monitoring stanja zagađenja (Kumpiene i sar., 2007; Bolan i sar., 2011).
Fitovolatilizacija: proces transformacije zagađivača metaboličkim reakcijama biljke i oslobađanje modifikovanog i manje toksičnog oblika zagađivača u atmosferu putem transpiracije (Prasad i Freitas, 2003; Yan i sar., 2020).	Kontaminant se transformiše u manje toksičan oblik (Tangahu i sar., 2011; Bhat i sar., 2022).	Kontaminant, oslobođen u atmosferu, precipitacijom može da se vrati u ekosisteme (Tangahu i sar., 2011; Favas i sar., 2014).
Fitodegradacija, rizodegradacija i rizofiltracija: Fitodegradacija, (fitotransformacija) se zasniva na degradaciji organskih kontaminanata unutar biljnog organizma aktivnošću metaboličkih procesa ili na degradaciji van biljke putem izlučevina korijena kao što su enzimi. Rizodegradacija je razlaganje zagađivača u zemljištu aktivnošću mikroorganizama rizosfere. Rizofiltracija je varijacija rizodegradacije, podrazumijeva upotrebu biljaka za prečišćavanje kontaminisanih otpadnih, podzemnih i površinskih voda (Raza i sar., 2020; Yan i sar., 2020).	Koristi i kopnene i vodene biljke, za <i>in situ</i> kao i <i>ex situ</i> remedijaciju (Muthusaravanan i sar., 2020; Bhat i sar., 2022).	Zahtijeva konstantno prilagođavanje pH supstrata, biljke prvo moraju da se gaje u staklenicima ili rasadnicima, neophodno je dobro razumijevanje hemijskog oblika kontaminanta (Subrahmanyam i Prasad, 2011).

Novija klasifikacija dijeli fitoremedijaciju na prirodnu, koja se bazira na prirodnim karakteristikama biljaka koje usvajaju kontaminante iz podloge i asistiranu koja se zasniva na primjeni helatnih jedinjenja koji mijenjaju fizičko-hemijske i mikrobiološke osobine zemljišta u svrhu povećanja biodostupnosti kontaminanata (Ali i sar., 2013). Aplikacija helatnih jedinjenja povećava biodostupnost i efikasnost usvajanja PTE od strane biljaka u procesu fitoremedijacije, posebno fitоекstrакције (Shinta i sar., 2021). U zoni korijena helatni agensi vezuju PTE i s njima stvaraju komplekse, koje biljke apsorbuju putem korijena i ksilemom transportuju u nadzemne organe (Shinta i sar., 2021; Vega i sar., 2022). Helatna jedinjenja mogu biti sintetička i prirodna - sintetišu ih i korijenom izlučuju biljke. Najpoznatiji sintetički helatni agens koji se koristi u fotoekstrакцији je etilen diamin tetra sirćetna kiselina (EDTA). Iako je visoka efikasnost EDTA u fitoremedijaciji zemljišta zagađenih PTE dokazana, ograničenja primjene ovog helatnog agensa povezana su sa povećanjem zagađenja podzemnih voda, jer se EDTA teško razlaže u životnoj sredini. Zbog toga se novija istraživanja fitoremedijacije baziraju na prirodnim organskim helatnim jedinjenjima, koja nemaju štetne efekte po životnu sredinu (Song i sar., 2018; Arsenov i sar., 2019, 2020; Mallhi i sar., 2019;

Chen i sar., 2020; Zhang i sar., 2020; Li i sar., 2021; Shinta i sar., 2021). Među prirodnim helatorima se ističu niskomolekularne organske kiseline (limunska, oksalna, jabučna, salicilna i druge), koje se karakterišu brзом razgradnjom, povećanjem biodostupnosti i usvajanja kontaminanata iz supstrata, uz smanjenje njihove fitotoksičnosti (Kim i Lee, 2010; Hu i sar., 2016; Arsenov i sar., 2020). Zaštitna uloga organskih kiselina je specifična za biljnu vrstu i nalazi se pod uticajem brojnih faktora, među kojima su hemijske karakteristike i struktura molekule kiseline, sadržaj PTE i osobine apsorpcije i akumulacije Cd koje su specifične za biljnu vrstu (Song i sar., 2018). Ove kiseline su sastavna komponenta korijenskih izlučevina, koje snižavaju pH zemljišta u rizosferi, modifikuju biodostupnost PTE i nutrijenata i povećavaju biodostupnost i rastvorljivost esencijalnih elemenata, kao što su Zn i Fe (Vega i sar., 2022). Svojim karboksilnim grupama organske kiseline vezuju katjone PTE, s kojima stvaraju komplekse i time snižavaju koncentraciju toksičnih elemenata u životnoj sredini. Kompleksi organskih kiselina i PTE ulaze u tkiva i ćelije korijena biljaka pasivnom difuzijom ili aktivnim transportom kroz ligand/transport NRAMP i ABC kanale, a zatim se sekvestruju u vakuolama ili transportuju i akumuliraju u nadzemnim organima (Thakur i sar., 2022; Vega i sar., 2022).

Egzogena aplikacija niskomolekularnih organskih kiselina značajno poboljšava usvajanje i akumulaciju Cd i drugih PTE i izaziva fiziološki odgovor biljaka na stres izazvan PTE (Dresler i sar., 2014; Chen i sar., 2020). Jedna od organskih kiselina koja se u novijim istraživanjima preporučuje za poboljšanje efikasnosti fitoekstrakcije i fitostabilizacije je limunska kiselina. U odnosu na EDTA, limunska kiselina nema štetnih efekata po životnu sredinu jer se brzo razgrađuje, poboljšava fizičke osobine i snižava pH zemljišta, povećava biodostupnost i mobilnost PTE u zemljištu. Limunska kiselina stimulira rast korijena i dovodi do veće apsorpcije i akumulacije PTE u biljkama asistirajući u transportu PTE kroz ćelijske membrane korijena i translokaciji od korijena ka izbojcima (Acuña i sar., 2021; Shinta i sar., 2021). Detoksikacioni efekat limunske kiseline na PTE u izdancima ogleđa se u transformaciji toksičnih oblika u manje toksične i lakše transportne oblike (Chen i sar., 2003), čime se poboljšava efikasnost fitoremedijacije (Arsenov i sar., 2019). U svojim istraživanjima Cataldo i sar. (1988) i Clemens (2001) pretpostavili su da je limunska kiselina jedan od Cd liganada koji učestvuje u transportu Cd putem ksilemskog soka prema starijim dijelovima biljaka. Nedavna istraživanja takođe naglašavaju ulogu limunske kiseline u fitoremedijaciji zemljišta kontaminiranog Cd koja se ogleđa u smanjenju toksičnosti Cd i stimulaciji njegovog transporta od korijena do izdanka (Arsenov i sar., 2019; Li i sar., 2021). Egzogena aplikacija limunske kiseline povećava brzinu rasta biljaka i utiče na porast fizioloških parametara i procesa: sadržaja hlorofila, fotosintetičke aktivnosti, efikasnosti iskorištavanja vode, aktivnost antioksidativnih enzima i redukcije reaktivnih vrsta kiseonika (Vega i sar., 2022). Na primjer, egzogena aplikacija 20 mM limunske kiseline poboljšala je biodostupnost, mobilnost i distribuciju Cd u vegetativnim organima *Salix viminalis*, kao i sadržaj hlorofila, brzinu fotosinteze i razmjenu gasova (Arsenov i sar., 2020). Kod *Salix variegata* tretman limunskom kiselinom poboljšao je ukupnu brzinu fotosinteze, sadržaj karotenoida, broj i zapreminu hloroplasta u ćelijama hlorenhima, uz ublažavanje ili izbjegavanje strukturnih oštećenja fotosintetičkog aparata u uslovima stresa izazvanog Cd (Chen i sar., 2020). Aplikacija 100 mM limunske kiseline u velikoj mjeri je povećala otpornost hidroponski gajenih klijanaca *Salix variegata* na oksidativni stres i smanjila lipidnu peroksidaciju izazvanu tretmanom sa 50 mM Cd (Zhang i sar., 2020). Kod *Calendula officinalis* gajene na krečnjačkom zemljištu sa dodatkom 50 - 100 mg kg⁻¹ Cd uz egzogene doze limunske kiseline od 0,05 i 0,1 mM nisu se pojavili fiziološki simptomi uzrokovani Cd toksičnošću (Saffari i Saffari, 2020).

Limunska kiselina je helatni agens i za druge PTE (Vega i sar., 2022). Kod ariša (*Larix olgensis*) gajenog na zemljištima kontaminisanim sa 100 mg kg⁻¹ Pb, egzogena aplikacija limunske kiseline u koncentracijama od 5 do 10 mM smanjila je toksične efekte Pb, ali i povećala aktivnost peroksidaze i superoksid dismutaze i sadržaja hlorofila, prolina i karotenoida (Song i sar., 2018). Takođe, egzogena aplikacija limunske kiseline povećala je fitoekstrakciju i redukovala toksične efekte Pb kod *Ricinus communis*, istovremeno potičući fotosintezu i rast ricinusa (Mallhi i sar., 2019). Utvrđeno je da limunska kiselina ima ključnu ulogu u ublažavanju stresa izazvanog Cu i povećanju aktivnosti antioksidativnih enzima u listovima klijanaca *Brassica napus* (Ju i sar., 2021). Navedena istraživanja ukazuju na pozitivan uticaj limunske kiseline na morfofiziološke i biohemijske parametre biljaka gajenih na zemljištima zagađenim Cd i drugim PTE i poboljšanje procesa fitoremedijacije, ali anatomske aspekt ove metodologije tek treba da se istraži.

2.7. Dendroremedijacija: značaj primjene vrsta roda *Salix* u fitoremedijaciji

Da bi se životna sredina očistila od zagađenja i organskim i neorganskim kontaminantima, potreban je održiv, ekonomski isplativ i ekološki prihvatljiv pristup prečišćavanja, tj. remedijacije. Fizičke, hemijske i biološke tehnike remedijacije, koje se izvode *in situ* i *ex situ*, mogu da se primjene na većinu izvora zagađenja (Scullion, 2006). Među ovim tehnikama posebno se ističe uloga drvenastih biljaka u biološkoj remedijaciji (Komives i Gullner, 2006; Paz-Alberto i Sigua, 2013; Pajević i sar., 2016). Kao najpogodnije drvenaste vrste, sa visokim stepenom otpornosti na povećane nivoe polutanata, velikim kapacitetom usvajanja i akumulacije polutanata i ulogom u bioremedijaciji izdvajaju se vrbe (*Salix* sp.), topole (*Populus* sp.), breza (*Betula pendula*), johe (*Alnus* spp.), bagrem (*Robinia pseudoacacia*) i borovi (*Pinus* sp.) (Kuzovkina i Quigley, 2005; Wislocka i sar., 2006; Marmiroli i sar., 2011; Borišev i sar., 2012; Pajević i sar., 2016; Pilipović i sar., 2019, 2020).

Naziv dendroremedijacija potiče iz grčke riječi *dendro*, drvo i latinske riječi *remediare*, ponovo koristiti. Dendroremedijacija je jedan od pristupa fitoremedijacije, prečišćavanja zagađene životne sredine korišćenjem drvenastih biljaka koje imaju sposobnost da uklone, zadrže i/ili biorazgrade zagađivače (Macek i sar., 2000; Rockwood i sar., 2004). Dendroremedijacija se odavno koristi za rješavanje problema urbanog otpada širom svijeta (Ettala, 1987; Wong i Lueng, 1989; Alker i sar., 2002; Langholtz i sar., 2005). Dug životni vijek drveća koji protiče na istom mjestu (*in situ*) i dostizanje polne zrelosti nakon više decenija, uslovlili su razvoj mehanizama prilagođavanja ovih biljaka na različite i veoma promjenljive abiotičke i biotičke faktore stresa u životnoj sredini. Efikasno iskorištavanje svjetlosti, male potrebe za hranljivim materijama i visoka tolerancija na mnoge zagađivače zemljišta omogućavaju drveću da preživi na kontaminiranim lokalitetima gdje većina zeljastih biljaka ne uspijeva (Schoenmuth i Pestemer, 2004; Komives i Gullner, 2006; González-Oreja i sar., 2008; Mleczek i sar., 2018). Dendroremedijacija takođe treba da uzme u obzir drvenastu biljku kao cjelinu sa pripadajućom mikroflorom i okolnim zemljištem. Korijen drveća sintetiše i izlučuje u rizosferu različite egzudate, kao što su organske kiseline i ketoni, koji potiču rast mikroorganizama značajnih za razgradnju kontaminanata. Mikroorganizmi koji su prisutni u zoni korijena drveća mogu da poboljšaju efikasnost dendroremedijacije tako što povećavaju dostupnost polutanata i olakšavaju njihovo usvajanje putem korijena. Zahvaljujući navedenim osobinama, drveće predstavlja jedinu grupu biljaka sposobnu za održivu remedijaciju i suočavanje sa dugotrajnim i nepredvidivim zagađenjem zemljišta (Komives i Gullner, 2006).

U procesu dendroremedijacije drvenaste i žbunaste vrste imaju ulogu u prečišćavanju zemljišta, vode i vazduha kontaminisanih i neorganskim (Mleczek i sar., 2018; Budzyńska i

sar., 2021) i organskim polutantima (Schoenmuth i Pestemer, 2004; Komives i Gullner, 2006; Gonzalez-Oreja i sar., 2008; Yao i sar., 2019). Drvenaste vrste koje se koriste za dendroremedijaciju organskih zagađivača imaju izuzetne sposobnosti metaboličke apsorpcije i vaskularnog transporta, zahvaljujući kojima mogu da apsorbuju i transformišu organske zagađivače u netoksična jedinjenja ili vrše njihovu potpunu mineralizaciju (Yao i sar., 2019). Uloga drveća i žbunja u dendroremedijaciji PTE povezana je sa fitoekstrakcijom i fitostabilizacijom elemenata i zavisi od sposobnosti usvajanja elemenata iz zemljišta, transporta i akumulacije u nadzemnim organima i tkivima (González-Oreja i sar., 2008; Mleczek i sar., 2018; Budzyńska i sar., 2021). Vertikalna distribucija elemenata u drveću i sposobnost fitoekstrakcije zavise od osobina elemenata i od vrste drveća i njihove starosti (Mleczek i sar., 2018; Budzyńska i sar., 2021). Kod drveća, kao najdugovječnijih živih organizama na svijetu, značajno je vrijeme kada drvo dostiže stepen zasićenja kontaminantima. Ovo stanje može da se ponekad poklapa sa stadijumom umiranja. Međutim, ako drveće ima veoma dug životni vijek, mora da razvije sposobnost neutralizacije toksičnih supstanci, tako što transportuje i akumulira ove materije u organe koji se brzo odbacuju, prije svega u listove i plodove. Da ne bi došlo do sekundarnog zagađenja zemljišta tokom razgradnje stelje, potrebno je ukloniti opalo lišće. S druge strane, uklanjanje stelje može da ima negativne posljedice u gubitku nutrijenata iz zemljišta koji bi se oslobodili tokom razgradnje stelje, nestaje zaštitna uloga stelje, zemljište brže gubi vlagu, njegova temperatura brže raste, a time se remeti i ravnoteža zemljišnih mikroorganizama. Zbog toga je neophodno stalno pratiti dalju sudbinu kontaminanata nakon akumulacije u listovima, pa je i uloga dugovječnih drvenastih vrsta u dendroremedijaciji stalno aktuelna tema. Ograničavajući faktori u ovom procesu su klimatski uslovi, dostupna voda, tip zemljišta, različite osobine pojedinih drvenastih vrsta (Mleczek i sar., 2018). Npr., bijeli bor (*Pinus sylvestris* L.), koji raste u veoma različitim uslovima staništa od suvih do močvarnih i uspješan je bioindikator stanja urbanih sredina, veoma je osjetljiv na zagađenje životne sredine (Juranović Cindrić i sar., 2019). Iz tog razloga, za praćenje uspješnosti dendroremedijacije uvijek je bolje birati native drvenaste vrste, koje su bolje prilagođene datim uslovima sredine (Yoon i sar., 2006).

Postoji mnogo uslova koje jedna drvenasta vrsta mora da ispuni da bi bila uspješna u dendroremedijaciji, iako naučni interes u proučavanju ovog aspekta fitoremedijacije stalno postoji (Mleczek i sar., 2018). Najpogodnije vrste treba da imaju veoma razvijen i ekstenzivan korijenov sistem, veliku produkciju nadzemne biomase, visok intenzitet transpiracije, uspostavljene agronomske prakse gajenja sa ekonomskom vrijednošću i visok stepen društvene prihvatljivosti (Pulford i Dickinson, 2005; Kuzovkina i Quigley, 2005; Kuzovkina i Volk, 2009; Marmiroli i sar., 2011; Lebrun i sar., 2018; Drzewiecka i sar., 2012; Chibiuke i Obiora, 2014). Vrbe se u sve većem stepenu koriste za oporavak, stabilizaciju i poboljšanje zagađenih sredina, kontrolu erozije zemljišta i produkciju energetske biomase. Neophodne karakteristike koje vrste rodova *Salix* čine pogodnim za fitoremedijaciju su: (1) moćan rast i produktivnost na mlađim stadijumima razvića; među drvenastim vrstama imaju najveći kapacitet konverzije sunčevog zračenja u hemijsku energiju, pod određenim klimatskim uslovima; (2) ekstenzivan korijenov sistem, sa većinom aktivnih korijenova u površinskom sloju zemljišta i stalnim rastom u periodu od maja do oktobra; (3) veliku brzinu transpiracije i usvajanje velikih količina vode tokom sezone rasta; (4) efikasno usvajanje nutrijenata; veliki kapacitet filtracije azota i sposobnost olakšavanja denitrifikacije u koji obrazuje mikorizukorijenovoj zoni; (5) tolerancija poplavljenih ili zasićenih zemljišta sa manjkom kiseonika u korijenovoj zoni; neke vrste mogu da podnose povećane koncentracije CO₂ i metana; tolerišu zemljišta siromašna nutrijentima i zagađena metalnim polutantima; (6) veoma brz rast izdanaka iz panjeva i lako vegetativno razmnožavanje reznicama; (7) sposobnost akumulacije visokih nivoa PTE, posebno Cd; (8) sposobnost podnošenja oštećenja izazvanih visokim intenzitetom sunčeve svjetlosti, manjim

požarima, sušom kao i zaslanjenošću, kada se obnavljaju iz korijena (Kuzovkina i Quigley, 2005; Dickinson i Pulford, 2005; Prasad i Freitas, 2005; Dos Santos Utmazian i Wenzel, 2007; Unterbrunner i sar., 2007; Gonzalez-Oreja i sar., 2008; Mleczek i sar., 2018).

Procjena potencijala vrba u fitoremedijaciji zasniva se na različitim eksperimentalnim metodama, kao što su *in vitro* kulture, gajenje u hidroponima i zemljišnim kulturama, proučavanje njihovog genetskog potencijala i polimorfizma (Marmioli i sar., 2011). Vrbe su adaptirane na rast u narušenim sredinama što pokazuju njihove osobine kao što su: sposobnost dubokog ukorjenjivanja, tolerancija gustog zasađivanja, brz rast nakon orezivanja i vegetativna propagaciju iz mirujućih pupoljaka. Navedene osobine omogućavaju da se vrbe gaje u sistemima šibljaka sa kratkim ciklusom rasta (2-4 godine) u kojima stvaraju veliku količinu biomase, od 10 do 15 tona suve materije ha⁻¹ godina⁻¹ (Riddell-Black, 1993; Bullard i sar., 2002; Kuzovkina i Quigley, 2005). Ovakvi sistemi gajenja vrba imaju ulogu u vezivanju ugljenika i predstavljaju energetski izvor, koji se može iskoristiti za proizvodnju biogoriva, čime se smanjuje emisija gasova staklene bašte (Karp, 2014). Mogućnost gajenja vrba u sistemu šibljaka sa kratkim vegetativnim ciklusom čini ih idealnim biljkama za fitoremedijaciju kontaminisanog zemljišta. U ovom sistemu guste sadnje, neki klonovi stvaraju gusto upletenu mrežu korijenova između susjednih biljaka. Ovako se formira rizosfera velikih dimenzija, koja prodire u zemljište do dubine oko 2-3 m i povećava kapacitet usvajanja nutrijenata, omogućava kontakt sa kontaminantima i oslobađa korijenske izlučevine koje imaju ulogu u potpunijem razlaganju kontaminanata i sintezi i apsorpciji metal-ligand kompleksa (Wieshammer i sar., 2007; Capuana i sar., 2011; Marmioli i sar., 2011).

Vrbe posjeduju sposobnost usvajanja, akumulacije i premještanja metala u različite organe, toleranciju na nivou korijena i lista, fiziološke i biohemijske mehanizme uključene u ove procese. Istraživanja ovih osobina provedena pod kontrolisanim i poljskim uslovima pokazala su da *Salix spp.* ekstrahuju velike količine metala iz zemljišta, pri čemu postoji izražena inter- i intraspecijska razlika. Poredeći količinu ekstrahovanog Cd između veoma poznatog hiperakumulatora *Thlaspi caerulescens* i *Salix spp.*, utvrđeno je da su *Salix spp.* ekstrahovale manje Cd po jedinici suve mase. Međutim, zbog veće produkcije biomase, vrbe su ekstrahovale više Cd po biljci i po ha od vrste *Thlaspi caerulescens* (Greger i Landberg, 1999; Fuksová i sar., 2009). Vrbama bi trebalo oko 30 godina za uklanjanje Cd iz umjereno kontaminisanog zemljišta, pod uslovom da ne dolazi do promjene kapaciteta ekstrakcije tokom vremena. Da bi se vrijeme potrebno za ekstrakciju što više skratilo, primjenjuje se sistem guste sadnje vrba i topola u sistemima šibljaka sa kratkim periodom rasta, u kojem nastanak guste mreže korijenova povećava potencijal ekstrakcije (Wieshammer, 2007; Capuana, 2010; Sugier i Sugier, 2010; Marmioli i sar., 2011). Vrste iz roda *Salix* su našle primjenu u svim tehnikama fitoremedijacije (Kuzovkina i Quigley, 2005). Od najvećeg značaja za postizanje uspješne fitoekstrakcije su klonovi vrba koji su otporni na povećane koncentracije metala, imaju visoku produkciju nadzemne biomase i razvijenu sposobnost akumulacije metala u izdancima. Otpornost vrba na metale (Cd, Cu, Zn, Ni, Pb) i sposobnost da akumuliraju značajne količine metala u svojim nadzemnim organima i tkivima potvrđena je u višedecenijskim istraživanjima (Dickinson i sar., 1994; Riddell-Black, 1994; Punshon i Dickinson, 1997; Watson i sar., 1999; Greger i Landberg, 1999; Robinson i sar., 2000; Keller i sar., 2003; Kuzovkina i sar., 2004; dos Santos Utmazian i sar., 2007; Gu i sar., 2007; Borišev i sar., 2009; Luković i sar., 2012; Arsenov i sar., 2017). Proučavajući više od 150 klonova vrba, Greger i Landberg (1999) su ustanovili da postoji velika varijabilnost u njihovoj toleranciji Cd. Do istog zaključka došli su i Malá i sar. (2010).

Najznačajnija osobina vrba koja se koristi u svrhu fitoekstrakcije jeste visoka produktivnost nadzemne biomase, sa kojom se nakon žetve uklanjaju visoke koncentracije Cd,

procijenjene na oko 2,6-16,5 g Cd ha⁻¹ godina⁻¹ (Keller i sar., 2003; Lunačkova i sar., 2003), mada su zabilježene i veće koncentracije od 67,16- 241,98 g Cd ha⁻¹ (Zárubová i sar., 2015). Pored genotipa (Kuzovkina i sar., 2004; Fischerová i sar., 2006; Zárubová i sar., 2015) i ontogenetski razvoj vrba je značajan faktor u akumulaciji Cd u nadzemnim organima, npr. četvorogodišnji izdanci vrba imali su najveće procentualno učešće u količini ekstrahovanog Cd, od 43,2 % (Zárubová i sar., 2015). U vrste roda *Salix* najpogodnije za fitoekstrakciju Cd ubrajaju se one koje imaju visok faktor biokoncentracije Cd u izdancima. Pored toga, visoka koncentracija Cd u listovima, iznad 300 mg Cd kg⁻¹ suve mase, zajedno sa malom koncentracijom u korijenu i proporcijom Cd list:korijen > 1 ukazuju na veoma izraženo usvajanje metala i efikasan transport u nadzemne organe (Dos Santos Utmazian i sar., 2007). To su tzv. vrste akumulatori na nivou izdanaka, *Salix alba* (Pulford and Watson 2003; Mleczek i sar., 2010), *Salix nigra* (Kuzovkina i sar., 2004; Borišev i sar., 2009), *Salix matsudana* (Dos Santos Utmazian i sar., 2007), *Salix smithiana* (Dos Santos Utmazian i Wenzel, 2007), *Salix caprea* (Wieshammer i sar., 2007), *Salix viminalis* (Tlustoš i sar., 2007; Łukaszewicz i sar., 2009; Mleczek i sar., 2009; Malá i sar., 2010).

Ako postoji potreba i interes za upotrebu vrba u fitostabilizaciji Cd, selekcija treba da se fokusira na klonove kod kojih postoji kombinacija visoke otpornosti i malog nivoa akumulacije Cd u nadzemnim tkivima. Velike koncentracije Cd u korijenu (> 1500 mg Cd kg⁻¹ suve mase) i proporcija Cd list:korijen < 1, ukazuju na usvajanje visokih koncentracija Cd, ali i nepostojanje translokacije do izdanaka. To su vrste vrba označene kao akumulatori na nivou korijena: *Salix babilonica*, *Salix rubens*, *Salix purpurea*, *Salix humboldtiana* i *Salix fragilis* (Dos Santos Utmazian i sar., 2007); *Salix alba* (Borišev i sar., 2009); *Salix nigra* (Hrkić Ilić i sar., 2020). One se uglavnom karakterišu gustim, ekstenzivnim korijenovim sistemom koji prodire u duboke slojeve zemljišta (Kuzovkina i Quigley, 2005; Marmioli i sar., 2011; Lebrun i sar., 2018), usvajajući i akumulirajući i do 10 puta veće koncentracije Cd u odnosu na nadzemne organe (Lux i sar., 2004; Borišev i sar., 2012; Vaculik i sar., 2012). Vrbe su naročito pogodne za proučavanje fitostabilizacije zemljišta zagađenog toksičnim elementima, gdje je izražena uloga korijenovog sistema (Pulford i Watson, 2003; Vervaeke i sar., 2003; Mertens i sar., 2004; Sebastiani i sar., 2004; Dickinson i Pulford, 2005; Brunner i sar., 2008; Evangelou i sar., 2013; Hrkić Ilić i sar., 2020). Njihov ekstenzivan korijenov sistem, koji se razgranava duboko u zemljištu, intenzivna transpiracija, relativno brz rast koji iznosi 3,7 to 4,9 m/godina za izdanak i 6 - 7 cm/godina za korijen (Greene, 2017) i visok kapacitet filtracije vode omogućavaju zadržavanje polutanata na zagađenom lokalitetu (Wani i sar., 2011; Marmioli i sar., 2011; Lebrun i sar., 2018; Lux i sar., 2004b). Značajno je da veoma brza transpiracije vrsta roda *Salix*, oko 4,6 mm/dan (Frédette i sar., 2019) pomaže u smanjenju silaznog toka vode kroz zemljište, čime se smanjuje rizik kontaminacije toksičnim elementima (Pulford i Watson, 2003). Navedene osobine vrba značajne su i u njihovoj mogućoj primjeni u dekontaminaciji zemljišta i voda zagađenih organskim polutantima, kroz tehnike fitodegradacije, rizofiltracije i rizostimulacije (Kuzovkina i Quigley, 2005). Među vrstama koje su značajne za fitoremedijaciju organskih polutanata ubrajaju se *Salix babilonica* (Corseuil i Moreno, 2001; Yu i Gu, 2006), *Salix viminalis* (Vervaeke i sar., 2003) i *Salix alba* (Borišev i sar., 2012) dok su za rizofiltraciju značajne sve vrste koje prirodno rastu duž vodenih tokova i bazena, formirajući vegetacioni filter koji redukuje zagađenje (Perttu i Kowalik, 1997; Ali i sar., 1999), kao što je *Salix alba* (Capuana, 2020; Malik i sar., 2020), *Salix gracilistyla* (Capuana, 2020). Upotreba drvenastih vrsta iz roda *Salix* za fitoremedijaciju neorganskih i organskih polutanata pokazuje mnoge pozitivne aspekte u obnavljanju životne sredine, ali uspjeh ove prirodno inspirisane tehnike leži u pažljivom izboru vrsta i genotipova koji odgovaraju specifičnom okruženju i zagađivačima. Akumulacija Cd kao PTE u različitim vegetativnim organima vrsta roda *Salix* u velikoj mjeri zavisi od genotipa (Tabela 2.).

Tabela 2. Literaturni pregled koncentracije Cd u vegetativnim organima genotipova *Salix* spp. koji su proučavani sa aspekta moguće primjene u fitoremedijaciji*

Istraženi genotipovi	Korijen	Izdanak	List	Referenca
<i>Salix dasyclados</i> 'Loden' <i>Salix viminalis</i> 'Orm' <i>Salix viminalis</i> 'Tora'	---	---	7,4–9,5 mg/kg	Meers i sar. (2003)
<i>Salix alba</i> 'Pyramidalis' S-141 <i>Salix alba</i> S-464 <i>Salix dasyclados</i> S-406 <i>Salix</i> × <i>rubens</i> S-391 <i>Salix</i> × <i>smithiana</i> S-150 <i>Salix</i> × <i>smithiana</i> S-218 <i>Salix viminalis</i> S-519	0,9-132 mg/kg	0,6-94,0 mg/kg	1,1-204 mg/kg	Vysloužilová i sar. (2003a, 2003b)
<i>Salix discolor</i> <i>Salix eriocephala</i> <i>Salix exigua</i> <i>Salix lucida</i> <i>Salix nigra</i>	75,9-577,3 µg/g	18,3-181 µg/g	6,45-80,0 µg/g	Kuzovkina i sar. (2004)
<i>Salix babylonica</i> -1 <i>Salix babylonica</i> -2 <i>Salix caprea</i> -1 <i>Salix caprea</i> -2 <i>Salix cinerea</i> <i>Salix daphnoides</i> <i>Salix dasyclados</i> <i>Salix fragilis</i> -1 <i>Salix fragilis</i> -2 <i>Salix humboldtiana</i> var. <i>fastigiata</i> <i>Salix matsudana</i> × <i>alba</i> <i>Salix purpurea</i> -1 <i>Salix purpurea</i> -2 <i>Salix rubens</i> -1 <i>Salix rubens</i> -2 <i>Salix smithiana</i> -1 <i>Salix smithiana</i> -2	237-2610 mg/kg	---	11,9-315 mg/kg	Dos Santos Utmazian i sar. (2007)
<i>Salix alba</i> S-464, <i>Salix dasyclados</i> S-406 <i>Salix rubens</i> S-391 <i>Salix</i> 'Pyramidalis' S-141 <i>Salix smithiana</i> S-218 <i>Salix smithiana</i> S-150 <i>Salix viminalis</i> S-519	0,555-128 mg/kg	---	---	Tlustoš i sar. (2007)
<i>Salix alba</i> 68/53/1	8066 µg/g	338,9 µg/g	476,6 µg/g	Borišev i sar. (2009)
<i>Salix alba</i> 106/54/0	2146 µg/g	188,6 µg/g	81,8 µg/g	Borišev i sar. (2009)
<i>Salix matsudana</i> SM 4041	6639 µg/g	259,6 µg/g	389,0 µg/g	Borišev i sar. (2009)
<i>Salix nigra</i> 0408	3085 µg/g	347,0 µg/g	507,5 µg/g	Borišev i sar. (2009)
<i>Salix dasyclados</i>	---	28,7 mg/kg	57,5 mg/kg	Fuksová i sar. (2009)
<i>Salix alba</i> L. 'SS5'	4,1 mg/kg	---	376,0 mg/kg	Zacchini i sar. (2011)
<i>Salix fragilis</i>	37,2-168 mg/g	3,5-8,8 mg/g	5,2-14,6 mg/g	Luković i sar. (2012)
<i>Salix</i> × <i>smithiana</i>	3,05 mg/kg	---	---	Kacálková i sar. (2014)

* vrijednosti su date kao srednja vrijednost ili opseg (min.-max.), u suvoj masi vegetativnih organa.

Novija istraživanja ukazala su na sposobnost vrba da prečišćavaju zemljište zagađeno veoma toksičnim organskim polutantima, kao što su herbicidi (Baz i Fernandez, 2002), eksplozivni (Schoenmuth i Pestemer, 2004), organski rastvarači (Komives i Gullner, 2006), ugljovodonici iz dizelskog goriva ili sirove nafte (Borišev i sar. 2012).

3. Cilj i radne hipoteze

Istraživanje primjenom klasične anatomske i stereološke metode je provedeno na jednogodišnjim reznicama odabranih genotipova vrba gajenih u uslovima sa i bez tretmana povećanim koncentracijama Cd i limunskom kiselinom u cilju:

1. Procjene postojanja genotipske specifičnosti vrba u anatomske karakteristika, na nivou svih vegetativnih organa,
2. Definisana genotipske specifičnosti u parametrima ksilema korijena i stabla, sa posebnim naglaskom na hidrauličnu teorijsku provodljivost,
3. Utvrđivanje postojanja genotipske razlika vrba na anatomske planu u zavisnosti od reakcija na tretmane Cd sa i bez prisustva limunske kiseline, analiziranih u tri faze tokom rasta biljaka,
4. Karakterizacije tkiva od značaja u dendroremedijaciji Cd primjenom stereološke analize izbojaka.

Na osnovu postavljenih ciljeva i planiranih analiza očekuje se da će biti:

1. Pruženi novi podaci o anatomske karakteristika vegetativnih organa odabranih genotipova vrba;
2. Utvrđene intergenotipske varijabilnosti anatomske parametara vegetativnih biljnih organa;
3. Izdvojeni genotipovi pogodni za dendroremedijaciju na osnovu anatomske karakteristika, sa posebnim akcentom na karakteristike ksilema;
4. U potpunosti saznanja o anatomske odgovoru vegetativnih organa genotipova vrba na tretmane Cd sa i bez prisustva limunske kiseline
5. Na osnovu dobijenih rezultata ispitaće se korelacija odabranih anatomske karakteristika koje se mogu dovesti u vezu sa produkcijom biomase. Na osnovu svega, definisaće se karakteristike koje bi doprinijele selekciji najpogodnijih genotipova za različite projekte fitoremedijacije.

4. Materijal i metode rada

4.1. Biljni materijal

U cilju istraživanja uticaja različitih koncentracija kadmijuma i limunske kiseline na anatomske parametre vegetativnih organa *Salix* spp. u eksperimentu su korištena tri klonova vrba (Tabela 3.). Odabrani klonovi dobijeni su selekcijom biljnog materijala iz banke gena Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu u Novom Sadu (45°14'51.3"N, 19°49'52.1"E).

Tabela 3. Odabrani klonovi različitih vrsta vrba (*Salix* spp.)

Vrsta	Klon	Narodni naziv
<i>Salix alba</i> L.	'B-44'	bijela vrba
<i>Salix viminalis</i> L.	'SV068'	košaračka vrba
<i>Salix matsudana</i> Koidz.	'SM4041'	kineska kovrdžava vrba

Klon 'B-44' je 1980. godine selekcionisao LŠG "Jelen" iz Beograda. Za precizne podatke o porijeklu i selekciji ovog klona ne postoji dostupna literatura. I pored toga klon 'B-44' je istraživan u cilju utvrđivanja značajnih razlika među genotipovima bijele vrbe na variranje svojstava ožiljavanja (Kovačević i sar., 2010), kao i u svrhu ispitivanja njegovog potencijala u fitoremedijaciji herbicida (Pilipović i sar., 2016).

Klon 'SV068' je ženski klon košaračke vrbe, koji potiče iz polusrodnog, otvorenog, oprašenog sjemenog zametka dobijenog iz međunarodne razmjene tokom 60-ih godina prošlog vijeka (Pilipović i sar., 2019).

Klon 'SM4041' je klon kovrdžave vrbe koji se u zbirkama genofonda Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu u Novom Sadu nalazi radi eventualnih ukrštanja i fizioloških istraživanja (Nikolić i sar., 2015).

4.2. Uslovi gajenja i eksperimentalni dizajn

Eksperimentalni dio ove disertacije izveden je na Departmanu za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu (45°24'54.11"N, 19°85'27.86"E). Tokom faze mirovanja biljaka (februar), reznice vrba su posječene i deponovane u hladnjači do početka ogleada (april). Neukorijenene reznice vrba (dužine 20 cm, sa jednim izdankom po reznici) gajene su u polukontrolisanim uslovima u stakleniku Departmana za biologiju i ekologiju, metodom zemljišne kulture. Temperatura u stakleniku je održavana između 20 i 30°C, sa fotoperiodima svjetlo/tama od 12 h i relativnom vlažnošću vazduha od 55-60%. Biljke su redovno zalivane do optimalne vlažnosti zemljišta od 60%.

Biljke su posađene u Mičerlihove posude koje su sadržavale po 5 kg zemljišnog supstrata. Supstrat za eksperiment, obezbjeđen iz rasadnika Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu u Novom Sadu (45°30'25"N, 19°93'85"E), sadržavao je mješavinu pješčanog fluvisola i treseta (pH 7,6-8,4) u zapreminskom odnosu 5:1 što odgovara masenom odnosu 2,5 kg zemlje i 0,5 kg treseta po svakoj Mičerlihovoj posudi. Treset se dodao da bi se smanjila pH vrijednost zemljišta i povećala biodostupnost Cd biljkama. Početkom aprila zemlja je tretirana kadmijumom i limunskom kiselinom (Tabela 4.). Kadmijum je prskalicom raspršen po supstratu, koji je zatim homogeno izmješšan i ostavljen do početka ogleada. Supstrat je modifikovan dodatkom limunske kiseline u cilju utvrđivanja uticaja sukcesivne aplikacije Cd, u prisustvu limunske kiseline, na promjene anatomskih parametara odabranih klonova vrba. Stabilizacija supstrata je trajala 10 dana. Prije samog sađenja u Mičerlihove posude, reznice su

ostavljene u vodi tokom 24 h, a zatim dezinfikovane potapanjem u 2% rastvor bakar-sulfata (CuSO₄) u trajanju od 15 minuta.

Tabela 4. Primjenjene koncentracije kadmijuma i limunske kiseline za tretman klonova vrba

Tretman	Hemijski oblik	Koncentracija
Cd (kadmijum)	Cd(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	3 mg Cd/kg zemljišta (MDK)* 6 mg Cd/kg zemljišta (2·MDK)
limunska kiselina (monohidrat)	C ₆ H ₈ O ₇ ·H ₂ O (M = 210,14 g/mol)	20 mmol/kg zemljišta

*MDK = maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK) od 3 mg Cd/kg zemljišta (prema važećem Pravilniku o količinama pesticida, metala, metaloida i drugih otrovnih supstancija, hemoterapeutika, anabolika i drugih supstancija koje se mogu nalaziti u namirnicama ("Sl. list SRJ", br. 5/92, 11/92 – ispr. i 32/2002 i "Sl. glasnik RS", br. 25/2010 – dr. pravilnik i 28/2011 – dr. pravilnik).

U svaku Mičerlihovu posudu je posađeno po 6 reznica ujednačenih dimenzija. Formirano je ukupno 6 različitih tretmana (Tabela 5.).

Tabela 5. Primjenjeni tretmani sa koncentracijama kadmijuma i limunske kiseline

Tretman		Datum			
Bez limunske kiseline	Sa limunskom kiselinom	Postavljanje reznica u Mičerlihove posude sa supstratom (fluvisol + treset)	Pinciranje viška izbojka	Dodavanje limunske kiseline	Uzorkovanje vegetativnih organa (korijen, stablo, izbojak sa listom)
kontrola (Ø)	limunska kiselina monohidrat (L)			18. 6. 2014.	26. 6. 2014.
3 mg Cd /kg (Cd 3)	3 mg Cd/kg + limunska kiselina (Cd 3+L)	23. 4. 2014.	12. 5. 2014.	5. 8. 2014.	18. 8. 2014.
6 Cd mg/kg (Cd 6)	6 mg Cd/kg + limunska kiselina (Cd 6+L)			16. 9. 2014.	24. 9. 2014.

Nakon 14 dana izvršeno je pinciranje izdanaka, pri čemu je ostavljen po jedan izdanak na svakoj reznici da se obezbijedi uniformnost i ujednačen rast biljaka. Pojavom prvih resa je utvrđeno da se radi o ženskim biljkama. Tretiranje biljaka samo Cd i Cd uz prisustvo limunske kiseline vršeno je u tri ponavljanja tokom sezone rasta, uz istovremeno gajenje kontrolnih netretiranih biljaka.

4.3. Anatomska karakterizacija vegetativnih organa vrba

Uzorkovane biljnog materijala radi klasične anatomske i stereološke analize obuhvatilo je vegetativne organe 5 biljaka iz svakog tretmana i ukupno tri termina uzorkovanja (juni, avgust i septembar). Biljni materijal je uzorkovan 8 dana od dodavanja limunske kiseline u prvom i trećem terminu uzorkovanja, odnosno 13 dana u drugom terminu uzorkovanju (Tabela 5.). U svakom terminu uzorkovanja, prije dalje analize, biljke su isprane dejonizovanom vodom da bi se obezbijedilo potpuno uklanjanje zemlje sa površine korijena. Zatim se pristupilo fiksiranju i analizi anatomske parametara vegetativnih organa klonova vrba (korijena, stabla, izbojaka i listova).

Adventivni bočni korijen, reznica (stablo), liska i izbojak bili su predmet opšte anatomske karakterizacije, dok su izbojci bili i predmet stereološke analize. Karakteristike građe svih organa su date na osnovu analiza kontrolnih biljaka prvog tretmana. Poprečni presjeci vegetativnih organa osim reznica, debljine 60 µm, pravljani su pomoću Leica CM 1850 kriostata (Leica Microsystems, Nussloch, Germany) na temperaturi od -18 to -20°C. Sve

analize poprečnih presjeka i mjerenja izvršeni su pomoću svjetlosnog mikroskopa Motic BA210 i sistema za analizu slike Image Analyzing System Motic Image Plus 3.0 (Motic Microscopes, Germany). Za dokazivanje lignina u ćelijskim zidovima korišćen je Wiesner-ov test bojenja presjeka floroglucinolom uz prisustvo hlorovodonične kiseline (Ruzin, 1999; Blaschek i sar., 2020), gdje se pri pozitivnoj reakciji dobija intenzivno crvena boja tkiva.

Reznica je sječena ručno botaničkim nožem, na dva mjesta, tj. na segmentima uzorkovanim 5 cm od vrha nadzemnog dijela i 5 cm od podzemnog dijela, po 10 preparata po svakom tretmanu, za svaki klon. Zbog kvaliteta (tvrdoće) biljnog materijala, pripremljeni su mikroskopski preparati samo onih reznica koje su uzorkovane nakon prvog tretmana (juni). Procentualno učešće izmjerenih parametara periderma, primarne kore, sekundarnog floema, ksilema (primarnog i sekundarnog) i srži u stablu reznica izračunato je u odnosu na površinu poprečnog presjeka reznice. Izmjereni parametri reznice predstavljeni su u Tabeli 6. Poluprečnik srži i debljine pojedinih zona mjerene su na tri mjesta na svakom preparatu i za dalja preračunavanja korišćene su srednje vrijednosti. Traheje su brojane i mjerene na tri vidna polja po preparatu. Mjerenjem su obuhvaćene sve traheje u vidnom polju, i pojedinačne i grupisane.

Tabela 6. Ispitivani anatomske parametri jednogodišnjih reznica klonova vrba

Izmjereni anatomske parametri	Anatomske parametri dobijeni preračunavanjem iz podataka dobijenih mjerenjem
Debljina periderma (μm)	% Periderma
Debljina primarne kore (μm)	% Primarne kore
Debljina sekundarnog floema (μm)	% Sekundarnog floema
Debljina ksilema (μm)	Odnos ksilema i sekundarnog floema % Ksilema (primarni + sekundarni)
Poluprečnik srži (μm)	% Srži
Broj pojedinačnih traheja u vidnom polju	Gustina pojedinačnih traheja (broj pojedinačnih traheja po mm^2)
Površina pojedinačnih traheja (μm^2)	Prosječna površina pojedinačnih traheja (μm^2)
Ukupna površina pojedinačnih traheja u vidnom polju (μm^2)	% Pojedinačnih traheja u ksilemu
Broj grupisanih traheja u vidnom polju	Broj grupisanih traheja po mm^2 ksilema
Površina grupisanih traheja (μm^2)	Prosječna površina jedne grupisane traheje (μm^2)
Ukupna površina grupisanih traheja u vidnom polju (μm^2)	% Grupisanih traheja u ksilemu
Broj grupa traheja u vidnom polju	Broj grupa traheja po mm^2 ksilema
Broj traheja u jednoj grupi	Indeks grupisanja (V_g) Broj traheja po mm^2 ksilema Prosječna površina svih traheja (μm^2) % Traheja u ksilemu
	Teoretska hidraulička provodljivost (k_h ; $\text{N} \cdot 10^{-6}$) Indeks osjetljivosti (V_i)

Na osnovu anatomskih mjerenja, izračunata je teoretska hidraulička provodljivost ksilema reznica (k_h) po analiziranom vidnom polju (jednačina 1), prema Hagen-Poiseuilleovom zakonu (Tyree i Ewers, 1991):

$$k_h = \frac{\pi \cdot \rho}{128 \cdot \eta} \sum_{i=1}^n d_i^4 \quad (1),$$

d je dijametar traheja iz jednog vidnog polja (m), ρ gustina vode ($1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), η viskozitet vode ($1.002 \cdot 10^{-9} \text{ MPa} \cdot \text{s}$), na 20°C (James i sar., 2003).

Indeks osjetljivosti (V_i) se izračunava pomoću dijametara traheja (D , μm) i broja traheja po mm^2 (V_D) (jednačina 2). Ovaj indeks daje podatke o osjetljivosti/otpornosti ksilema prema kavitaciji i embolizmu (Carlquist, 1977):

$$V_i = \frac{D}{V_D} \quad (2).$$

Indeks grupisanja (V_g) prikazuje ukupan broj traheja podijeljen sa brojem grupa (jednačina 3) (Carlquist, 2001), odnosno zbirom grupa i pojedinačnih traheja. Pojedinačne traheje se takođe smatraju grupama koje sadrže samo jednog člana (Scholz i sar., 2013):

$$V_g = \frac{N_{\text{sve traheje po mm}^2}}{N_{\text{pojedinačnih traheja}} + N_{\text{grupa traheja}}} \quad (3),$$

$N_{\text{sve traheje po mm}^2}$ – Broj svih traheja / mm^2 ,
 $N_{\text{pojedinačnih traheja}}$ – Broj pojedinačnih traheja / mm^2 ,
 $N_{\text{grupa traheja}}$ – Broj grupa traheja / mm^2 .

Priprema mikroskopskih presjeka i anatomska analiza adventivnih korijenova reznica vrba izvršena je na 4 cm od vrata korijena (oko srednjeg dijela korijena). Izmjereni su anatomske parametri poprečnih presjeka korijenova i izračunate relativne proporcije u odnosu na površinu poprečnog presjeka za svako analizirano tkivo (Tabela 7.).

Tabela 7. Ispitivani anatomske parametri adventivnih korijenova klonova vrba

Izmjereni anatomske parametri	Anatomske parametri dobijeni preračunavanjem iz podataka dobijenih mjerenjem
Površina poprečnog presjeka korijena ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	
Dijametar korijena (μm) na poprečnom presjeku	
Debljina periderma (μm)	% Periderma
Površina sekundarnog korteksa (floema) (μm^2)	% Sekundarnog korteksa (floema)
Površina ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	
Površina drveta (primarni + sekundarni ksilem) (μm^2)	% Drveta (primarni + sekundarni ksilem)
Broj traheja u vidnom polju	Odnos drvo/sekundarni korteks Gustina traheja (GT; N/mm^2)
Ukupna površina lumena traheja (ukupni LT; $\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	Relativna površina lumena traheja (relativni LT; %)
Površina lumena pojedinačnih traheja (individualni LT; μm^2)	
Dijametar pojedinačnih traheja (individualni DT; μm)	
Broj traheja u I grupi (prečnik < 20 μm)	% Traheja u I grupi
Broj traheja u II grupi (prečnik 20-40 μm)	% Traheja u II grupi
Broj traheja u III grupi (prečnik > 40 μm)	% Traheja u III grupi
	Teoretska hidraulička provodljivost (k_h ; $\text{N} \cdot 10^{-6}$)
	Indeks osjetljivosti (V_i)

Detaljne anatomske analize korijena obuhvatale su mjerenja površine poprečnog presjeka korijena, prečnik korijena, kao i procenat periderma, sekundarnog floema (korteksa) i drveta (sekundarni i primarni ksilem) u odnosu na površinu poprečnog presjeka. Izmjerena je i izračunata površina lumena (LT) i prečnik individualnih traheja (DT), kao i gustina traheja (GT; broj sudova/ mm^2 poprečnog presjeka ksilema). Izmjereni su navedeni parametri svih traheja u svakom poprečnom presjeku korijena. Ukupna površina traheja izračunata je kao zbir površina svih traheja u svakom analiziranom presjeku korijena. Relativna površina lumena traheja je dobijena kao procenat ukupne površine lumena traheja u odgovarajućoj površini drveta. Na osnovu izmjerenog prečnika, traheje korijena su podijeljene u tri klase: traheje prečnika manjeg od 20 μm (I grupa); traheje prečnika od 20 do 40 μm (II grupa); traheje prečnika većeg od 40 μm (III grupa). Izračunat je procenat traheja u svakoj klasi, izražen kao procenat od ukupnog broja traheja na datom presjeku korijena. Teoretska hidraulička provodljivost (k_h) ksilema korijena izračunata je po istoj jednačini (1) kao i za reznicu.

Anatomska analiza izbojaka klonova vrba izvršena je na nivou središnjeg (trećeg) segmenta, pošto su izbojci sječeni na pet segmenata za potrebe stereološke analize. Procentualno učešće epidermisa, primarne kore, sekundarnog floema, ksilema (primarnog i sekundarnog) i srži u izbojcima je izračunato u odnosu na površinu poprečnog presjeka reznice. Izmjereni anatomske karakteri izbojaka predstavljeni su u Tabeli 8. Poluprečnik srži i debljine pojedinih zona mjerene su na tri mjesta na svakom preparatu i za dalja preračunavanja korišćene su srednje vrijednosti. Traheje su brojane i mjerene na tri vidna polja po preparatu. Mjerenjem su obuhvaćene sve traheje u vidnom polju i pojedinačne i grupisane.

Tabela 8. Ispitivani anatomske parametri izbojaka klonova vrba

Izmjereni anatomske parametri	Anatomske parametri dobijeni preračunavanjem iz podataka dobijenih mjerenjem
Debljina epidermisa (μm)	% Epidermisa
Debljina parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore (μm)	% Parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore
Debljina floema (μm)	% Floema
Debljina ksilema (primarni + sekundarni) (μm)	Odnos ksilem/floem
Površina ksilema (μm^2)	% Ksilema (primarni+ sekundarni)
Poluprečnik srži (μm)	% Srži
Broj pojedinačnih traheja u vidnom polju	Broj pojedinačnih traheja po mm^2 ksilema
Površina pojedinačnih traheja (μm^2)	Prosječna površina pojedinačnih traheja (μm^2)
Ukupna površina pojedinačnih traheja u vidnom polju (μm^2)	% Pojedinačnih traheja u ksilemu
Broj grupisanih traheja u vidnom polju	Broj grupisanih traheja po mm^2 ksilema
Površina jedne grupisane traheje (μm^2)	Prosječna površina jedne grupisane traheje (μm^2)
Ukupna površina grupisanih traheja u vidnom polju (μm^2)	% Grupisanih traheja u ksilemu
Broj grupa traheja u vidnom polju	Broj grupa traheja po mm^2 ksilema
Broj traheja u jednoj grupi	Indeks grupisanja (V_g)
	Broj traheja po mm^2 ksilema
	Prosječna površina svih traheja (μm^2)
	% Traheja u ksilemu
	Teoretska hidraulička provodljivost ($k_n; N \cdot 10^{-6}$)
	Indeks osjetljivosti (V_i)

Anatomska analiza izvršena je na uzorku od 5 liski svakog klona, po svakom tretmanu i za svako od tri uzorkovanja (Tabela 9.).

Tabela 9. Analizirane anatomske karakteristike lista

Liska	Pokorično tkivo	Glavni nerv
*P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	Debljina ade (μm) **	P glavnog nerva ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)
Debljina liske na 1/4 širine (van glavnog nerva)	% Debljine ade	P kolenhima + parenhima glavnog nerva
Debljina liske na glavnom nervu (μm)	P ćelija ade (μm^2)	P provodnog tkiva u glavnom nervu (μm^2)
	Debljina abe (μm) ***	P ksilema (μm^2)
	% Debljine abe	P floema (μm^2)
	P ćelija abe (μm^2)	P sklerenhima (μm^2)
	Debljina palisadnog tkiva (μm)	
	% Debljine palisadnog tkiva	% P kolenhima + parenhima glavnog nerva
	P ćelija palisadnog tkiva (μm^2)	
	Dužina ćelija palisadnog tkiva (μm)	
	Širina ćelija palisadnog tkiva (μm)	
	Indeks ćelija palisadnog tkiva	
	Debljina sunderastog tkiva (μm)	% P ksilema
	% Debljine sunderastog tkiva	% P floema
	P ćelija sunderastog tkiva (μm^2)	% P sklerenhima

*P – površina; **ade – adaksijalni epidermis; ***abe – abaksijalni epidermis

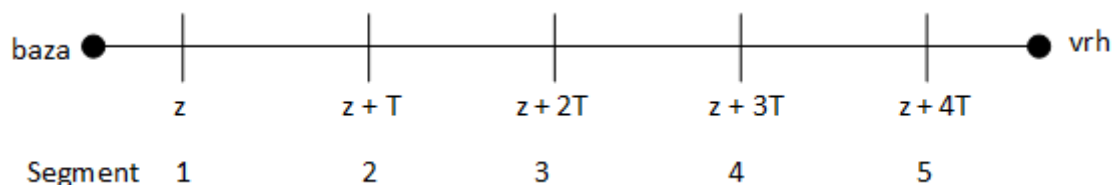
Izmjerena je površina liske na poprečnom presjeku. Procentualna učešća tkiva (debljine adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa, palisadnog i sunderastog tkiva) izračunati su u odnosu

na debljinu poprečnog presjeka liske. Procenat površine provodnih snopića u glavnom nervu, ksilema, floema, kolenhima sa parenhimom glavnog nerva i sklerenhima glavnog nerva liske izračunati su u odnosu na površinu glavnog nerva.

Zbog kvaliteta biljnog materijala, tj. veoma male dužine ($l \leq 2$ mm) nije bilo moguće pripremiti mikroskopske preparate svih lisnih drški. Iz tog razloga nisu izvršena mjerenja anatomskih parametara lisnih drški, već je dat samo opis građe za kontrolni uzorak.

4.4. Stereološka analiza izbojaka

Uzorkovanje izbojaka za stereološku analizu izvršeno je na osnovu pravila slučajnosti u izboru uzorka. Segmenti izbojaka su napravljeni na tačkama uzorkovanja izabranim po sistematskom ujednačenom nasumičnom principu uzorkovanja (Kubinová, 1994; Kubinová i Albrechtova, 1999). Interval (T) između dva uzastopna segmenta određen je prema dužini izbojka, počevši od prvog segmenta (z) pri osnovi organa (Slika 5.). Pozicija prvog presjeka (z) bira se u intervalu od 0 do vrijednosti dužine segmenta (T). Pozicija svakog sledećeg segmenta se određuje dodavanjem vrijednosti dužine segmenta.



Slika 5. Uniformno slučajno uzorkovanje izduženih biljnih organa za stereološku analizu.

Uzorak izbojaka za stereološku analizu je obuhvatio 5 biljaka po tretmanu, ukupno 30 po klonu. Izbojak je stereološki uzorkovan tako što je svaki izbojak isječen na 5 segmenata duž osovine. Stereološka analiza izbojaka izvođena je korištenjem testnog sistema u vidu mrežice koja se sastojala od 1008 testnih tačaka. Na osnovu podataka dobijenih stereološkom analizom, izračunati su zapreminski volumeni (V_v) pojedinih tkiva svakog od 5 segmenata izbojka (Tabela 10.), prema jednačini (4) koju je osmislila Kubinová (1994):

$$V_v(x) = \frac{\sum_{j=1}^n P_j(x)}{\sum_{j=1}^n P_j(y)} \quad (4),$$

n – broj analiziranih segmenata,

$P_j(x)$ ($j = 1, \dots, n$) broj testnih tačaka koje padaju na određeno tkivo segmenta izbojka j,

$P_j(y)$ ($j = 1, \dots, n$) broj testnih tačaka koje padaju na čitav presjek segmenta izbojka j.

Tabela 10. Stereološka analiza izbojaka klonova vrba

Izbojak
V_v epidermisa
V_v parenhima + kolenhima primarne kore
V_v intercelulara primarnog korteksa
V_v sklerenhima
V_v floema
V_v ksilema
V_v srži
V_v - volumenska gustina

4.5. Statističke metode obrade podataka

Za statističku obradu i grafički prikaz podataka korišteni su programski paketi Statistica 12 (TIBCO Software Inc., USA), Rstudio 2022.12.0 (Posit Software, PBC) i PAST 4.12b for Windows (Oyvind Hammer). Izračunate su aritmetičke sredine, standardne greške i koeficijenti varijacije za analizirane karaktere. U okviru deskriptivnih statističkih analiza izvršeno je poređenje međusobne zavisnosti odabranih anatomskih karaktera sa parametrima produkcije biomase, Pearson-ovim testom korelacija za nivo značajnosti od 95% ($p \leq 0,05$). Srednje vrijednosti izmjerenih i izračunatih parametara vegetativnih organa između kontrolnih i tretiranih biljaka klonova upoređeni su pomoću t-testa za nezavisne uzorke, za nivo značajnosti $p \leq 0,05$. Da bi se sagledao uticaj limunske kiseline na promjene anatomskih parametara vegetativnih organa u prisustvu različitih koncentracija Cd, urađeno je testiranje Dankanovim testom (višestruki intervalni test), za nivo značajnosti $p \leq 0,05$. Kako su reznice uzrokovane samo u prvoj fazi (prvom terminu) uzorkovanja tokom trajanja eksperimenta, metodom dvofaktorijalne analize varijanse upoređen je uticaj klonova vrba, tretmana Cd sa i bez prisustva limunske kiseline i interakcije klon×tretman na anatomske karaktere reznica. Upoređivanje uticaja genotipa vrba, tretmana Cd sa i bez prisustva limunske kiseline i tri faze uzorkovanja tokom trajanja eksperimenta, kao i njihovih interakcija, na anatomske karaktere korijena, izbojka i liske, izvršeno je trofaktorijalnom analizom varijanse, za nivo značajnosti $p \leq 0,05$. Srednje vrijednosti koje se statistički ne razlikuju za posmatrani nivo značajnosti označene su istim slovom.

Primjenom analize glavnih komponenti (PCA, Principal Component Analysis) ispitana je opšta struktura varijabilnosti uzorka, kao i uloga karakteru u ukupnoj varijabilnosti uzorka, na osnovu matrice korelacije. Diskriminantnom analizom osnovnih komponenti (DA, Discriminant Analysis) ispitan je način grupisanja klonova na osnovu odabranih parametara analiziranih vegetativnih organa.

5. Rezultati

5.1. Anatomska karakterizacija vegetativnih organa klonova vrsta *Salix alba* L., *Salix viminalis* L. i *Salix matsudana* Koidz.

5.1.1. Anatomske karakteristike reznica klonova vrba

Na poprečnom presjeku reznica analiziranih klonova vrba uočavaju se periderm, primarna kora, sekundarni floem, kambijum, sekundarno drvo, primarno drvo i srž. Parenhimske ćelije primarne kore su okruglog ili ovalnog oblika. Sklerenhim je prisutan u primarnoj kori u vidu grupisanih elemenata i u sekundarnom floemu, raspoređen u 3 do 4 tangencijalna niza. Drvo (primarni i sekundarni ksilem) je polu-prstenastog do difuzno-poroznog tipa. Traheje su solitarne i grupisane, u malim radijalnim grupama sastavljenim od 2 do 4 traheje. Srž je okruglog do zvjezdastog oblika na poprečnom presjeku (Slika 6.). Poprečni presjek reznica gajenih u prisustvu limunske kiseline prikazan je u prilogu (Slika P1.).

Analiza anatomskih karaktera nadzemnog segmenta reznica pokazala je statistički značajne razlike u proporcijama pojedinih tkiva između ispitivanih klonova vrba (Tabela 11.).

Procentualni udio periderma je statistički značajno varirao među klonovima, a najvećom vrijednošću se odlikovao klon 'SM4041'. U odnosu na procentualno učešće primarne kore, jasno se izdvojio klon 'SM4041'; između klonova 'B-44' i 'SV068' nije postojala statistički značajna razlika.

Procentualno učešće ksilema (primarnog i sekundarnog) i odnos ksilem/sekundarni floem imali su značajno najveće vrijednosti kod klona 'SV068' u poređenju sa klonovima 'B-44' i 'SM4041'. Proporcija sekundarnog floema bila je signifikantno najveća, a u vezi sa tim odnos ksilema i sekundarnog floema najmanji kod klona 'SM4041', u odnosu na preostala dva analizirana genotipa. Procentualno učešće srži se signifikantno razlikovalo između analiziranih klonova. Najveća vrijednost je zabilježena kod klona 'B-44'. Nakon njega slijedi klon 'SM4041', dok se klon 'SV068' karakteriše najmanjom vrijednošću procenta srži u nadzemnom segmentu reznice.

Poredeći genotipove po karakteristikama tkiva nadzemnog segmenta reznice, klon 'SM4041' se razlikuje od ostalih genotipova po najbolje razvijenim perifernim tkivima. Klon 'SV068' se izdvaja najbolje razvijenim ksilemom, ali najmanje razvijenom srži. Klon 'B-44' se karakteriše najmanje razvijenim pokoričnim tkivom, ali posjeduje najbolje razvijenu srž.

Analiza anatomskih karaktera podzemnog segmenta reznica pokazala je statistički značajne razlike u procentualnom učešću pojedinih tkiva između ispitivanih klonova vrba (Tabela 11.). Klon 'SM4041' se odlikovao najvećim procentualnim učešćem periderma. Kod svih klonova postoji statistički značajna razlika u procentualnom učešću primarne kore, koje je najveće kod klona 'SM4041' i najniže kod klona 'B-44'. Procentualno učešće sekundarnog floema je signifikantno variralo između ispitivanih klonova. Najveća vrijednost je zabilježena kod klona 'SM4041', a najniža kod klona 'SV068'. Najvećim statistički značajnim procentom ksilema karakteriše se klon 'SV068', kada se uporedi sa kontrolom. Klonovi 'B-44' i 'SM4041' se nisu međusobno značajno razlikovali u proporciji ksilema, iako je klon 'SM4041' imao najnižu vrijednost u odnosu na kontrolu. Odnos ksilema i sekundarnog floema podzemnog segmenta reznice statistički značajno je varirao između tri klona vrba: najveća vrijednost zabilježena je kod klona 'SV068' i najniža kod klona 'SM4041'. Procentualno učešće srži podzemnog segmenta reznice se statistički značajno razlikovalo između klonova, sa signifikantno najvećom vrijednošću kod klona 'B-44'.

Analiza anatomskih karaktera podzemnog segmenta reznica tri klona vrba pokazala je nešto veći broj statistički značajnih razlika u proporcijama tkiva između ispitivanih klonova, nego u nadzemnom segmentu. Poredeći genotipove, klon 'SM4041' se izdvaja po najbolje razvijenim perifernim tkivima. Klon 'SV068' se odlikuje najbolje razvijenim ksilemom, ali sa najmanje razvijenim sekundarnim floemom i srži. Klon 'B-44' se karakteriše najmanje razvijenim perifernim tkivima, ali najbolje razvijenom srži.

Poređenje parametara tkiva između nadzemnog i podzemnog segmenta pojedinačnih klonova pokazalo je da u većini slučajeva ne postoje statistički značajne razlike. Kod klona 'B-44' signifikantna razlika javlja se samo u procentualnom učešću periderma, koji je manji u podzemnom segmentu, a kod klona 'SV068' u procentualnim učešćima periderma i primarne kore, koji su u podzemnom segmentu bolje razvijeni. Kod klona 'SM4041' uopšte nema statistički značajnih razlika između anatomskih karaktera nadzemnog i podzemnog segmenta reznice.

Tabela 11. Procentualno učešće pojedinih tkiva u građi nadzemnog (N) i podzemnog (P) segmenta reznice tri klonova vrba gajenih na zemljišnim kulturama (kontrolne biljke), u odnosu na površinu poprečnog presjeka reznice (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Klon	Segment	% Periderma	% Primarne kore	% Sekundarnog floema	% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	Odnos ksilema i sekundarnog floema	% Srži
'B-44'	N	1,18 ± 0,05 (18,12) A; c*	4,03 ± 0,28 (26,6) A; b	10,0 ± 0,26 (10,1) A; b	63,9 ± 0,87 (5,28) A; b	6,45 ± 0,22 (13,2) A; b	20,9 ± 0,89 (16,4) A; a
	P	1,01 ± 0,04 (15,2) B; c	4,73 ± 0,24 (19,3) A; c	10,7 ± 0,53 (19,1) A; b	63,0 ± 0,88 (5,39) A; b	6,17 ± 0,4 (24,9) A; b	20,6 ± 0,85 (16,0) A; a
'SV068'	N	2,82 ± 0,10 (13,7) B; b	4,97 ± 0,60 (46,4) B; b	9,07 ± 0,65 (27,9) A; b	74,4 ± 1,24 (6,43) A; a	8,98 ± 0,79 (34,2) A; a	8,73 ± 0,27 (12,1) A; c
	P	3,25 ± 0,10 (12,1) A; b	7,15 ± 0,31 (16,6) A; b	9,21 ± 0,60 (25,0) A; c	71,5 ± 0,94 (5,08) A; a	8,30 ± 0,61 (28,7) A; a	8,93 ± 0,25 (10,6) A; c
'SM4041'	N	3,73 ± 0,15 (15,3) A; a	9,21 ± 0,23 (9,46) A; a	12,5 ± 0,36 (11,2) A; a	61,9 ± 0,41 (2,58) A; b	5,01 ± 0,18 (13,7) A; c	12,6 ± 0,29 (8,87) A; b
	P	4,00 ± 0,15 (14,1) A; a	9,40 ± 0,22 (9,23) A; a	12,3 ± 0,20 (9,18) A; a	61,2 ± 0,41 (2,57) A; b	4,91 ± 0,17 (13,4) A; c	12,7 ± 0,28 (8,64) A; b

*Različita velika slova ukazuju na značajne razlike između različitih segmenata istog klonova (jednofaktorijalna ANOVA; $p \leq 0.05$).

Različita mala slova ukazuju na značajne razlike između nadzemnih segmenata različitih klonova (jednofaktorijalna ANOVA; $p \leq 0.05$).

Različita kosa mala slova ukazuju na značajne razlike između podzemnih segmenata različitih klonova (jednofaktorijalna ANOVA; $p \leq 0.05$).

Slika 6. Poprečni presjek reznica tri klona *Salix* spp. (kontrolne biljke):

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’,

pod uveličanjima od 40×, 100× i 400×.

Oznake:

gtr – grupisane traheje

ka – kambijum

p – periderm

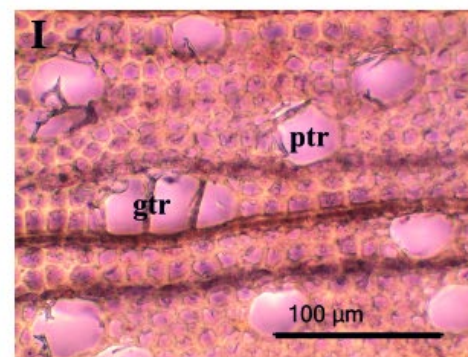
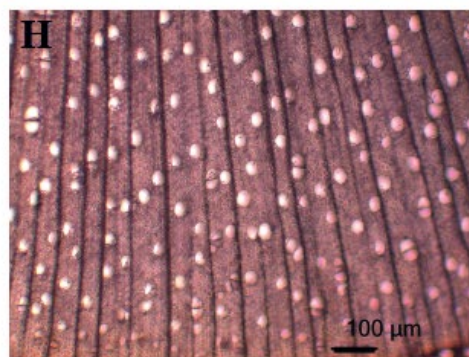
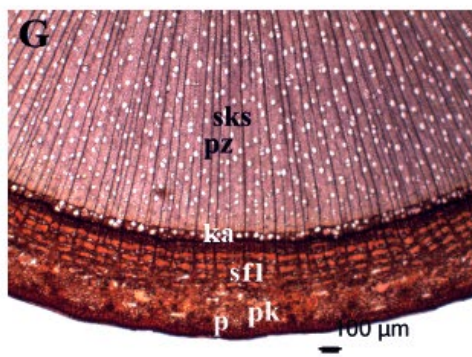
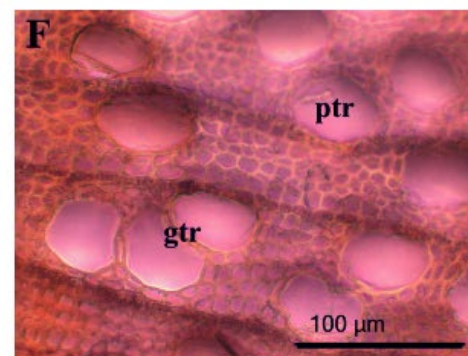
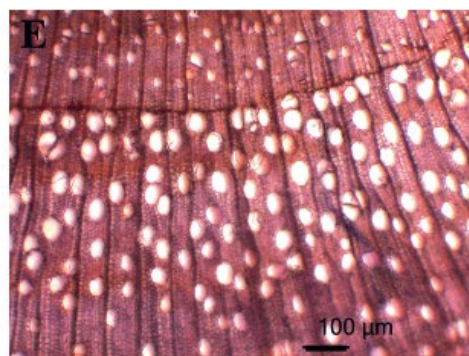
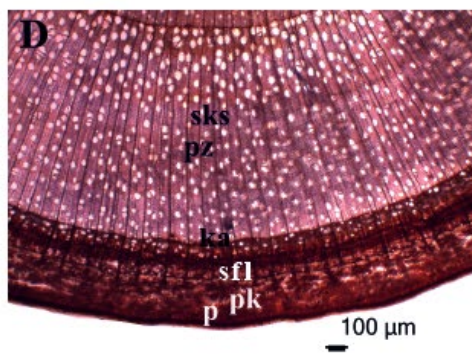
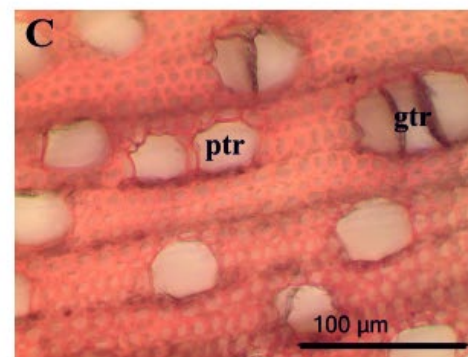
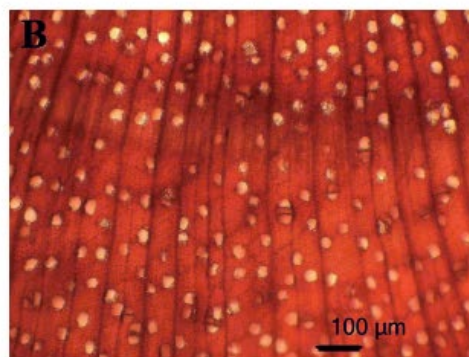
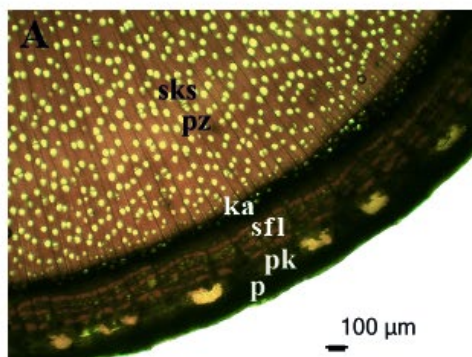
pk – primarna kora

ptr – pojedinačna traheja

pz – parenhimski zrak

sfl – sekundarni floem

sks – sekundarni ksilem



5.1.1.1. Karakteristike traheja, teoretska hidraulička provodljivost i indeks osjetljivosti reznica tri klonova vrba

Parametri traheja nadzemnog i podzemnog segmenta reznice pokazuju varijacije između analiziranih klonova (Tabela 12.).

Tabela 12. Karakteristike pojedinačnih i grupisanih traheja ksilema nadzemnog (N) i podzemnog (P) segmenta reznice tri klonova vrba (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Klon	Segment	% Traheja u ksilemu	Broj traheja po mm ²	Prosječna površina traheja	k _h	V _i
'B-44'	N	6,51 ± 0,24 (14,22) B; b*	140 ± 3,12 (8,66) B; b	811 ± 29,6 (14,1) A; b	0,41 ± 0,01 (28,5) B; b	0,24 ± 0,01 (13,2) A; a
	P	10,2 ± 0,29 (10,87) A; a	183 ± 4,04 (8,57) A; a	808 ± 36,9 (17,7) A; b	0,35 ± 0,05 (49,5) A; b	0,40 ± 0,05 (43,3) A; c
'SV068'	N	5,72 ± 0,20 (13,22) B; c	143 ± 1,98 (5,38) B; b	1070 ± 34,0 (12,3) A; a	0,48 ± 0,04 (43,3) B; b	0,29 ± 0,01 (12,3) A; a
	P	7,70 ± 0,13 (6,75) A; b	160 ± 2,34 (5,65) A; b	1098 ± 28,7 (10,1) A; a	0,58 ± 0,03 (44,5) A; a	0,23 ± 0,01 (13,9) A; b
'SM4041'	N	7,61 ± 0,14 (6,93) A; a	153 ± 2,28 (5,77) A; a	1054 ± 27,5 (10,1) A; a	0,62 ± 0,03 (21,2) A; a	0,28 ± 0,01 (8,18) A; a
	P	7,70 ± 0,13 (6,75) A; b	166 ± 2,50 (5,70) A; b	1086 ± 25,4 (9,43) A; a	0,50 ± 0,03 (21,7) A; a	0,32 ± 0,02 (12,5) A; a

*Različita velika slova ukazuju na značajne razlike između nadzemnog i podzemnog segmenta istog klonova (jednofaktorijska ANOVA; $p \leq 0.05$).

Različita mala slova ukazuju na značajne razlike između nadzemnih segmenata različitih klonova (jednofaktorijska ANOVA; $p \leq 0.05$).

Različita kosa mala slova ukazuju na značajne razlike između podzemnih segmenata različitih klonova (jednofaktorijska ANOVA; $p \leq 0.05$).

Procentualno učešće traheja u ksilemu nadzemnog segmenta reznice je statistički značajno variralo između klonova. Po najvećim vrijednostima procenta traheja i broja traheja po mm² ksilema izdvojio se klon 'SM4041'. Klon 'SV068' posjeduje traheje najvećeg lumena na poprečnom presjeku nadzemnog segmenta reznice, ali se ipak ne razlikuje značajno od klonova 'SM4041'. Značajno najmanjom vrijednošću ovog karaktera izdvaja se klon 'B-44'.

Najveća teoretska hidraulička provodljivost zapaža se kod klonova 'SM4041', koji ujedno ima i najveći broj relativno krupnih traheja. Između klonova 'B-44' i 'SV068' ne postoji statistički značajna razlika u vrijednostima k_h. Iako 'SV068' ima najkrupnije traheje one su prisutne u najmanjem procentu, dok 'B-44' posjeduje najmanji broj i najsitnije traheje među klonovima. Po vrijednostima indeksa osjetljivosti ne postoji statistički značajna razlika među nadzemnim segmentima analiziranih klonova.

Što se tiče karakteristika traheja podzemnog segmenta reznice, klon 'B-44' se izdvaja po najvećem procentu traheja u ksilemu. Traheje ovog genotipa su prisutne u najvećem broju, ali se odlikuju najmanjim lumenom na poprečnom presjeku. Prema procentualnom učešću traheja, broju traheja po jedinici površine ksilema i površini lumena traheja, klonovi 'SV068' i 'SM4041' se statistički značajno razlikuju većim vrijednostima ovih karaktera od klonova 'B-44', ali se ne razlikuju međusobno.

Klonovi 'SV068' i 'SM4041' se također ne razlikuju međusobno u vrijednostima k_h, iako su kod klonova 'SV068' zabilježene najveće vrijednosti teoretske hidrauličke provodljivosti i veličine traheja, koje su kod njega najkrupnije. Klon 'B-44', sa najsitnijim trahejama ima i najmanju vrijednost k_h koja se statistički značajno razlikuje od genotipova 'SV068' i

‘SM4041’. Indeks osjetljivosti je karakter traheja po kojem se svi klonovi međusobno statistički značajno razlikuju. Klon ‘SM4041’ ima najveću vrijednost, slijedi klon ‘SV068’, dok se klon ‘B-44’, koji ima traheje najužeg lumena, karakteriše se najmanjim V_i .

Poređenje parametara traheja između nadzemnog i podzemnog segmenta reznica pojedinačnih klonova (Tabela 12.) pokazalo je da se kod klonova ‘B-44’ i ‘SV068’ signifikantna razlika javlja se samo u procentualnom učešću i broju traheja po jedinici površine ksilema, kao i u vrijednostima teoretske hidrauličke provodljivosti. Kod klona ‘SM4041’ uopšte se ne javljaju statistički značajne razlike između karaktera traheja nadzemnog i podzemnog segmenta reznice.

Ispitivanjem karakteristika pojedinačnih traheja nadzemnog segmenta reznice (Tabela 13.) dobijeni rezultati su pokazali da se klon ‘B-44’ izdvojio najmanjim brojem pojedinačnih traheja po mm^2 ksilema. Klonovi ‘SV068’ i ‘SM4041’ se statistički razlikuju od klona ‘B-44’ po većem broju pojedinačnih traheja, ali se ne razlikuju međusobno.

Tabela 13. Karakteristike pojedinačnih traheja ksilema nadzemnog (N) i podzemnog (P) segmenta reznice tri klona vrba (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Klon	Segment	Broj pojedinačnih traheja po mm^2 ksilema	Prosječna površina pojedinačnih traheja (μm^2)	% Pojedinačnih traheja u ksilemu
‘B-44’	N	85,1 \pm 2,77 (12,6) B; b*	1243 \pm 48,8 (15,2) A; a	3,96 \pm 0,17 (16,5) B; c
	P	119 \pm 2,55 (8,29) A; b	982 \pm 64,6 (25,5) B; b	6,65 \pm 0,16 (9,22) A; b
‘SV068’	N	122 \pm 1,74 (5,55) B; a	1199 \pm 25,2 (38,1) A; ab	4,88 \pm 0,17 (13,5) B; b
	P	132 \pm 2,24 (6,57) A; a	1176 \pm 30,7 (10,1) A; a	6,34 \pm 0,13 (8,01) A; b
‘SM4041’	N	126 \pm 2,14 (6,58) A; a	1129 \pm 29,5 (10,1) A; b	6,28 \pm 0,13 (8,06) A; a
	P	136 \pm 2,33 (6,90) A; a	1186 \pm 32,4 (11,0) A; a	7,85 \pm 0,15 (10,5) A; a

*Različita velika slova ukazuju na značajne razlike između nadzemnog i podzemnog segmenta istog klona (jednofaktorijska ANOVA; $p \leq 0.05$).

Različita mala slova ukazuju na značajne razlike između nadzemnih segmenata različitih klonova (jednofaktorijska ANOVA; $p \leq 0.05$).

Različita kosa mala slova ukazuju na značajne razlike između podzemnih segmenata različitih klonova (jednofaktorijska ANOVA; $p \leq 0.05$).

Klon ‘B-44’ se odlikuje statistički značajno najvećim površinama pojedinačnih traheja; vrijednost ovog parametra je signifikantno najmanja kod klona ‘SM4041’. Klon ‘SV068’ se po veličini traheja statistički ne razlikuje značajno od klonova ‘B-44’ i ‘SV068’. Prema odnosu veličine i broja pojedinačnih traheja u ksilemu nadzemnog segmenta, genotip ‘B-44’ ima najkrupnije pojedinačne traheje, ali su prisutne u najmanjem broju, zbog čega je kod ovog klona zabilježena i najmanja procentualna zastupljenost solitarnih traheja. Klonovi ‘SV068’ i ‘SM4041’ imaju solitarne traheje manjih lumena od ‘B-44’ koje su brojnije. Po procentualnom učešću pojedinačnih traheja u ksilemu nadzemnog segmenta reznice svi klonovi se međusobno značajno razlikuju. Najveće procentualno učešće pojedinačnih traheja javlja se kod klona ‘SM4041’. Klon ‘B-44’ se odlikuje najmanjom vrijednošću ovog karaktera. Broj i lumen pojedinačnih traheja podzemnog segmenta reznice (Tabela 13.) imali su najmanje vrijednosti kod klona ‘B-44’. Klonovi ‘SV068’ i ‘SM4041’ imaju krupnije traheje koje su prisutne u većem broju i statistički se značajno razlikuju od klona ‘B-44’, ali se ne razlikuju međusobno. Kada se posmatra odnos veličine i broja pojedinačnih traheja, ‘SM4041’ se izdvaja kao genotip sa najkrupnijim pojedinačnim trahejama podzemnog segmenta, koje su prisutne u statistički značajno najvećem broju i procentu u podzemnom segmentu reznice.

Poređenje parametara pojedinačnih traheja između nadzemnog i podzemnog segmenta reznice svakog posebnog kлона vrba, pokazalo je da samo kod kлона 'B-44' postoji signifikantna razlika u svim izmjerenim parametrima (Tabela 13.). Broj i procenat pojedinačnih traheja kod ovog kлона su veći, a površina lumena manja u podzemnom u odnosu na nadzemni segment. Kod kлона 'SV068' se podzemni segment razlikuje samo statistički značajno većim brojem i procentualnim učešćem pojedinačnih traheja od nadzemnog segmenta. Kod kлона 'SM4041' ne postoje statistički značajne razlike između karaktera pojedinačnih traheja nadzemnog i podzemnog segmenta reznice.

Analiza karakteristika grupisanih traheja (Tabela 14.) ukazuje da su broj i procentualna zastupljenost grupisanih traheja bili oko 2-6 puta manji u odnosu na solitarne traheje nadzemnog segmenta reznica.

Tabela 14. Karakteristike grupisanih traheja ksilema nadzemnog (N) i podzemnog (P) segmenta reznice tri kлона vrba (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u %, u zagradi)

Klon	Segment	Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	Prosječna površina jedne grupisane traheje (μm ²)	% Grupisanih traheja u ksilemu	Broj grupa po mm ² ksilema	Broj traheja u jednoj grupi	V _g
'B-44'	N	54,5 ± 1,48 (10,5) B; a*	378 ± 5,86 (26,4) B; b	2,55 ± 0,11 (16,8) B; a	21,7 ± 0,78 (14,03) A; a	2,57 ± 0,05 (7,71) A; a	1,31 ± 0,01 (3,23) A; a
	P	63,7 ± 3,12 (19,0) A; a	635 ± 36,3 (22,13) A; b	3,56 ± 0,02 (21,6) A; a	25,0 ± 1,48 (23,0) A; a	2,59 ± 0,03 (4,61) A; a	1,27 ± 0,01 (3,28) B; a
'SV068'	N	21,1 ± 0,82 (15,1) B; c	941 ± 65,7 (27,0) A; a	0,84 ± 0,04 (18,7) B; c	10,5 ± 0,44 (16,0) B; b	2,01 ± 0,04 (7,01) A; b	1,08 ± 0,00 (1,38) B; c
	P	28,3 ± 1,83 (25,0) A; b	1019 ± 43,3 (16,4) A; a	1,36 ± 0,09 (24,5) A; b	12,1 ± 0,54 (17,3) A; b	2,43 ± 0,21 (33,0) A; a	1,12 ± 0,02 (5,25) A; b
'SM4041'	N	26,7 ± 1,75 (25,3) A; b	978 ± 41,6 (16,4) A; a	1,33 ± 0,08 (24,7) A; b	11,3 ± 0,52 (17,9) A; b	2,44 ± 0,19 (30,3) A; a	1,11 ± 0,01 (4,97) A; b
	P	29,5 ± 1,85 (26,1) A; b	1025 ± 45,6 (18,6) A; a	1,39 ± 0,10 (27,4) A; b	11,4 ± 0,40 (15,3) A; b	2,55 ± 0,26 (35,7) A; a	1,14 ± 0,03 (5,43) A; b

*Različita velika slova ukazuju na značajne razlike između nadzemnog i podzemnog segmenta istog kлона (jednofaktorijalna ANOVA; p ≤ 0.05).

Različita mala slova ukazuju na značajne razlike između nadzemnih segmenata različitih klonova (jednofaktorijalna ANOVA; p ≤ 0.05).

Različita kosa mala slova ukazuju na značajne razlike između podzemnih segmenata različitih klonova (jednofaktorijalna ANOVA; p ≤ 0.05).

Signifikantno najveći broj grupisanih traheja zabilježen je kod kлона 'B-44', a najmanji kod kлона 'SV068'. Procenat grupisanih traheja prati njihov broj po mm² ksilema i statistički značajno je najveći kod kлона 'B-44' i najmanji kod kлона 'SV068'. S druge strane, kod kлона 'B-44' zapaža se najmanja površina grupisane traheje koja je statistički značajno različita u poređenju sa klonovima 'SV068' i 'SM4041'. I po broju grupa traheja po mm² ksilema klon 'B-44' se izdvaja najvećom i statistički značajnom vrijednošću u odnosu na klonove 'SV068' i 'SM4041', između kojih nije utvrđena signifikantna razlika ovog parametra. Klon 'SV068' se izdvaja sa najmanjim brojem traheja u jednoj grupi i značajno se razlikuje od klonova 'B-44' i 'SM4041'. Indeks grupisanja traheja je statistički značajno varirao između analiziranih klonova vrba. Klon 'B-44' se značajno razlikuje po većini izračunatih i izmjerenih parametara grupisanih traheja nadzemnog segmenta reznice, pa je kod ovog genotipa zabilježen signifikantno najveći indeks grupisanja traheja. Ako se uporede karakteristike grupisanih traheja u podzemnom segmentu (Tabela 16.), evidentno je da se klon 'B-44', izuzev broja

traheja u jednoj grupi, od ostalih klonova razlikuje po svim ostalim karakteristikama grupisanih traheja. Ovaj klon ima signifikantno najveće vrijednosti broja i procenta grupisanih traheja u ksilemu, broja grupa po mm² ksilema i indeksa grupisanja, dok je površina grupisane traheje bila statistički najmanja među klonovima. Klonovi 'SV068' i 'SM4041' su se po navedenima karakteristikama značajno razlikovali od klona 'B-44' ali nisu među sobom. Takođe, kod svih klonova u ksilemu podzemnog segmenta reznice nije zabilježena statistički značajna razlika u broju traheja u jednoj grupi.

Što se tiče poređenja rezultata analize karaktera grupisanih traheja između nadzemnih i podzemnih segmenata reznica svakog klona zasebno, kod klonova 'B-44' i 'SV068' postoje signifikantne razlike, dok klon 'SM4041' nije pokazao značajne razlike između segmenata. Klon 'B-44' posjeduje statistički značajno niže vrijednosti površine i procenta grupisanih traheja, kao i broja traheja u nadzemnom segmentu u odnosu na podzemni, dok je V_g veći u nadzemnog segmentu reznice. Kod klona 'SV068' navedeni parametri su statistički značajno manji u nadzemnom u odnosu na podzemni segment reznice.

5.1.1.2. Analiza osnovnih komponenti (PCA) parametara reznice klonova vrba

Analiza osnovnih komponenti (PCA) koja je obuhvatila anatomske karaktere reznica tri klona vrba pokazala je da prva osnovna komponenta objašnjava 39,24 % variranja karaktera. Druga komponenta obuhvata 21,95 %, a treća 14,97 % variranja. Zajedno, tri komponente objašnjavaju 76,16 % variranja anatomskih karaktera reznica (Tabela 15.).

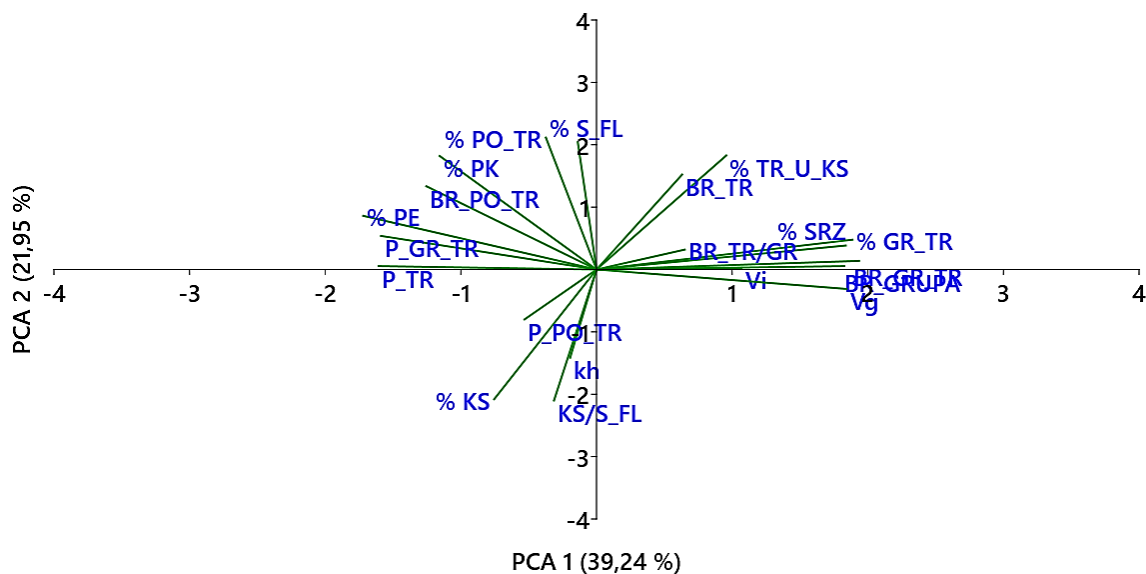
Tabela 15. Prikaz kvantitativnih karaktera od značaja za varijabilnost klonova, za nivo značajnosti > 0,7 (*)

Anatomski karakteri reznica	PC 1	PC 2	PC 3
% Periderma	-0,8463*	0,3167	-0,1065
% Primarne kore	-0,5691	0,6701	-0,2125
% Sekundarnog floema	-0,0679	0,7517*	-0,4805
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	-0,3715	-0,7651*	0,4758
Odnos ksilem/sekundarni floem	-0,1543	-0,7728*	0,5307
% Srži	0,9039*	0,1415	-0,1988
% Traheja u ksilemu	0,4709	0,6730	0,5219
Broj traheja po mm ² ksilema	0,3106	0,5604	0,7095*
Prosječna površina traheja	-0,7906*	0,0199	0,0776
$k_h \cdot 10^{-6}$	-0,0957	-0,5204	0,6447
V_i	0,5262	0,0098	0,2177
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	-0,6174	0,4916	0,5597
Prosječna površina pojedinačnih traheja (μm^2)	-0,2612	-0,2943	-0,3504
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	-0,1836	0,7783*	0,5437
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	0,9522*	0,0508	0,1295
Prosječna površina jedne grupisane traheje (μm^2)	-0,7819*	0,1982	0,2997
% Grupisanih traheja u ksilemu	0,9285*	0,1759	0,2033
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	0,8988*	0,0200	0,1369
Broj traheja u jednoj grupi	0,3199	0,1174	0,0166
V_g	0,9065*	-0,1145	-0,1273
Expl.Var	7,8482	4,3893	2,9945
Prp.Totl	0,3924	0,2195	0,1497

*Istaknute su vrijednosti za nivo značajnosti > 0,7000. k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; V_g – indeks grupisanja.

Karakteristi koji u najvećoj mjeri doprinose variranju na prvoj osi su: proporcije periderma i srži, prosječna površina traheja u ksilemu, karakteri grupisanih traheja (osim broja traheja u jednog grupi) i indeks grupisanja traheja (Slika 7.). Od karaktera koji doprinose razdvajanju genotipova vrba na drugoj osi se izdvajaju proporcije sekundarnog floema i ksilema, odnos

ksilema i sekundarnog floema i procenat pojedinačnih traheja u ksilemu. Razdvajaju genotipova na trećoj osi doprinosi samo broj traheja po mm² ksilema.



Slika 7. Grafički prikaz varijabilnosti karaktera reznica klonova *Salix* spp. (kontrolne reznice) dobijen na osnovu PCA metode. % PE – Procenat periderma; % PK - Procenat primarne kore; % S_FL - Procenat sekundarnog floema; % KS - Procenat ksilema (primarnog i sekundarnog); KS/S_FL - Odnos ksilema i sekundarnog floema; % SRZ - Procenat srži; % TR_U_KS - Procenat traheja u ksilemu; BR_TR - Broj traheja po mm² ksilema; P_TR - Prosječna površina traheja; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; BR_PO_TR - Broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; P_PO_TR - Prosječna površina pojedinačnih traheja (μm²); % PO_TR - Procenat pojedinačnih traheja u ksilemu; BR_GR_TR - Broj grupisanih traheja po mm² ksilema; P_GR_TR - Prosječna površina jedne grupisane traheje (μm²); % GR_TR - Procenat grupisanih traheja u ksilemu; BR_GRUPA - Broj grupa po mm² ksilema; BR_TR/GR - Broj traheja u jednoj grupi; V_g – indeks grupisanja traheja.

5.1.1.3. Diskriminantna analiza parametara reznica klonova vrba

Diskriminantna analiza (DA) imala je za cilj da pokaže grupisanje tri klona vrba na osnovu sličnosti u odabranim kvantitativnim karakterima jednogodišnjih reznica. Da ne bi došlo do udvostručavanja podataka, diskriminantna analiza nije uzela u obzir zbirne karaktere pojedinačnih i grupisanih traheja. Takođe nisu uzeti u obzir k_h, V_i i V_g jer su dobijeni računanjem iz osnovnih podataka.

Imajući u vidu da prethodne analize anatomskih karaktera reznica u većini slučajeva nisu pokazale signifikantne razlike između nadzemnog i podzemnog segmenta (kod klona ‘SM4041’ uopšte nema značajnih razlika), diskriminantna analiza se bazirala na prosječnim vrijednostima karaktera bez obzira na segment.

Rezultati diskriminantne analize pokazuju da prva diskriminantna osa učestvuje u razdvajanju genotipova sa 86,63 %. Karakteri od značaja za razdvajanje su procentualni udjeli: periderma, primarne kore, sekundarnog floema, ksilema (primarnog + sekundarnog) i srži.

Parametri traheja od značaja za razdvajanje na prvoj osi su broj i procentualni udio pojedinačnih traheja, broj i procentualni udio grupisanih traheja. Po ovim karakterima se klon ‘B-44’ značajno izdvaja u pozitivnom dijelu prve diskriminantne ose.

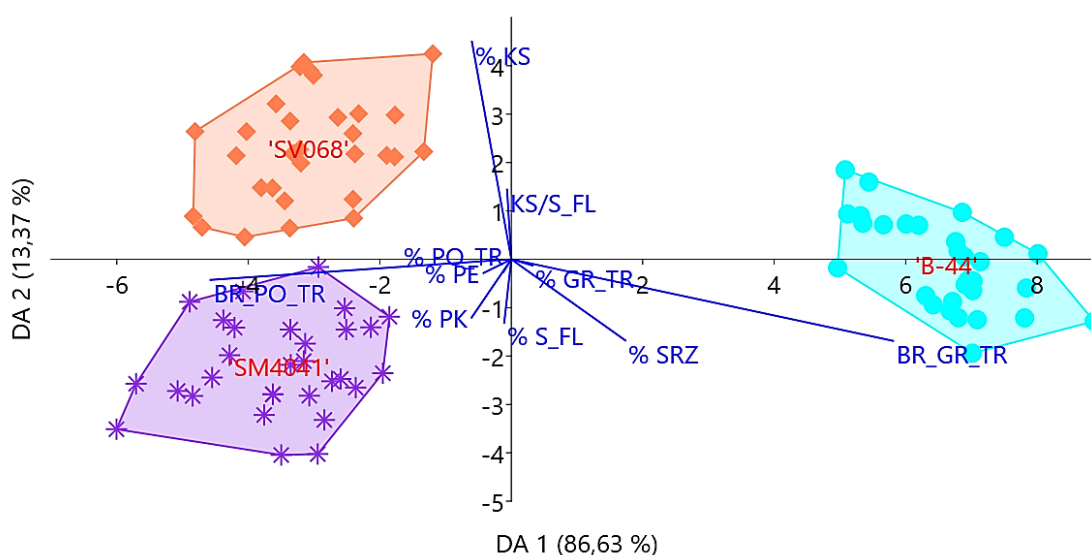
Parametri traheja od značaja za razdvajanje na drugoj osi su broj i procentualni udio grupisanih traheja. Po ovim karakterima genotip ‘SV068’ se izdvaja u pozitivnom, a ‘SM4041’ u negativnom dijelu druge diskriminantne ose (Tabela 16. i Slika 8.).

Tabela 16. Kvantitativni karakteri reznica tri klonova vrba i nivoi opterećenja prve dvije diskriminantne ose

Kvantitativni karakteri	DA 1	DA 2
% Periderma	-2,1254	-3,0784
% Primarne kore	-4,7607	-10,5143
% Sekundarnog floema	-5,5570	-12,6366
% Ksilema (primarnog + sekundarnog)	-10,1329	-26,1822
Odnos ksilem/sekundarni floem	-0,1299	1,7107
% Srži	-5,9824	-15,4643
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	-1,3781	-0,4055
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	1,7460	0,5649
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	2,0405	1,3774
% Grupisanih traheja u ksilemu	-1,9913	-1,5779
Sopstvene vrijednosti	22,6840	3,5009
Kumulativni procenat	0,8663	0,1337

*Istaknuti su karakteri značajni za diskriminantne ose na nivou značajnosti > 0,7000

Druga diskriminantna osa učestvuje u razdvajanju genotipova sa 13,37 %, a karakteri koji su značajni za razdvajanje su procentualni udjeli: periderma, primarne kore, sekundarnog floema, ksilema (primarnog + sekundarnog) i srži, kao i odnos ksilema i sekundarnog floema.



Slika 8. Diskriminantna analiza (DA): Grafički prikaz grupisanja tri klonova *Salix* spp. na osnovu kvantitativnih karakterata reznice. % PE – Procenat periderma; % PK – Procenat primarne kore; % S_FL - Procenat sekundarnog floema; % KS - Procenat ksilema (primarnog + sekundarnog); KS/S_FL - Odnos ksilema i sekundarnog floema; % SRZ – Procenat srži; BR_PO_TR - Broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; % PO_TR – Procenat pojedinačnih traheja u ksilemu; BR_GR_TR - Broj grupisanih traheja po mm² ksilema; % GR_TR - Procenat grupisanih traheja u ksilemu.

5.1.1.4. Korelaciona analiza anatomskih karakterata reznica klonova vrba

Linearna korelaciona analiza obuhvatila je set anatomskih karakterata reznica klonova *Salix* spp., da bi se sagledalo koji parametri se mogu dovesti u vezu sa produkcijom biomase genotipova obuhvaćenih istraživanjem u okviru ove disertacije.

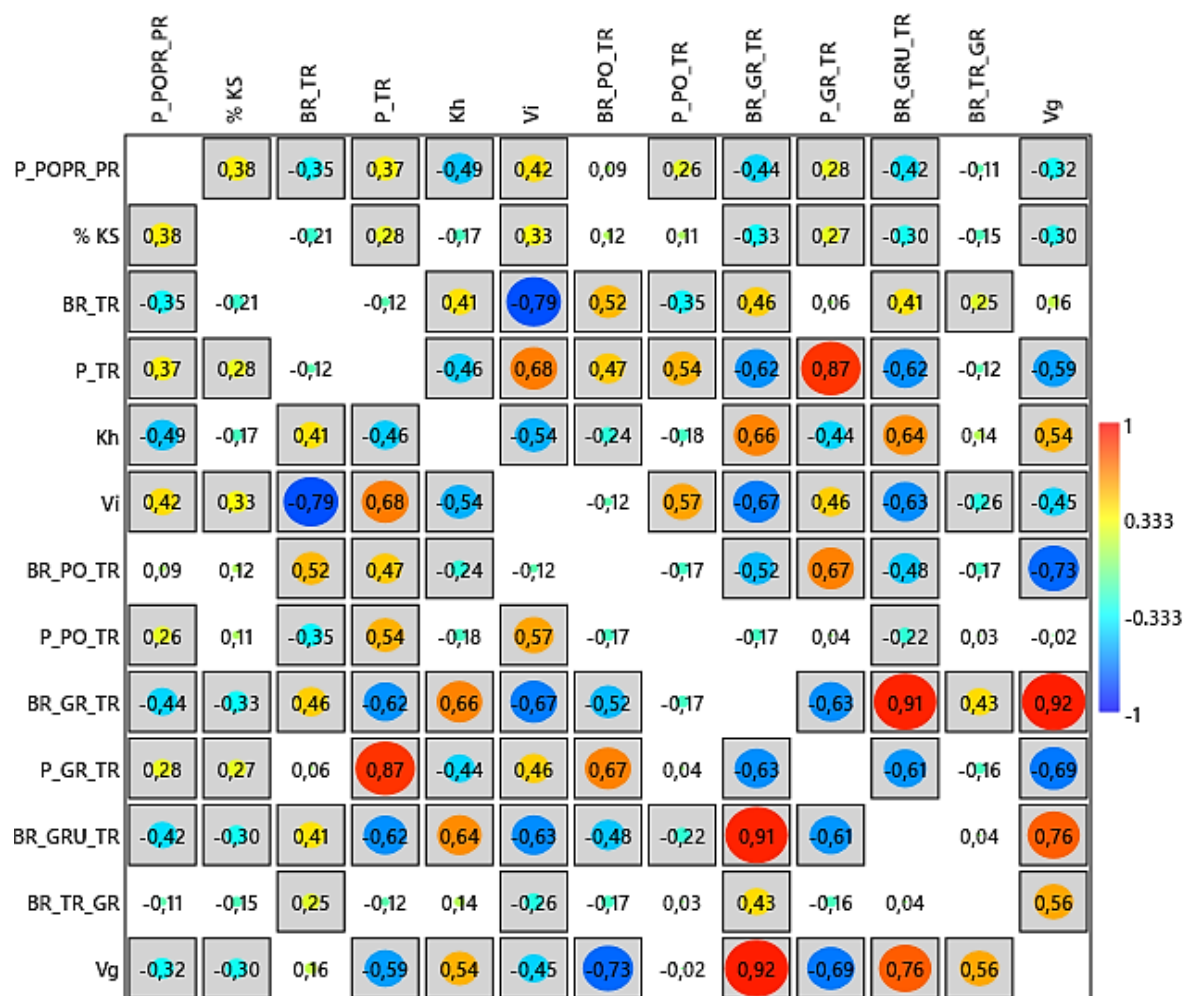
Rezultati korelacione analize anatomskih karakterata reznica klonova vrba (Slika 9.) pokazuju da se površina reznice na poprečnom presjeku nalazi u značajnoj negativnoj korelaciji sa teoretskom hidrauličkom provodljivošću ($r = -0,49$), brojem grupisanih traheja ($r = -0,44$) i brojem grupa traheja po mm² ksilema ($r = -0,42$).

Broj traheja po mm² ksilema reznica nalazi se u značajnoj pozitivnoj korelaciji sa brojem pojedinačnih (r = 0,52) i grupisanih traheja (r = 0,46) i brojem grupa traheja (r = 0,41).

Prosječna površina traheja u ksilemu reznica ostvaruje značajne, pozitivne korelacije sa brojem (r = 0,47) i površinom solitarnih traheja (r = 0,54), dok je veza sa površinom grupnih traheja pozitivna i visoka (r = 0,87). Dokazana je i značajna negativna korelacija prosječne površine traheja sa brojem grupisanih traheja (r = -0,62) i brojem grupa traheja (r = -0,62).

Broj pojedinačnih traheja stoji u značajnim negativnim korelacionim vezama sa brojem grupisanih traheja (r = -0,52) i brojem grupa traheja (r = -0,48). Zapaženo je da dolazi do smanjenja površine grupisanih traheja sa povećanjem njihovog broja (r = -0,63).

Postoji visoka pozitivna korelaciona veza broja grupisanih traheja sa brojem grupa traheja po mm² ksilema (r = 0,91). Ustanovljena je značajna negativna korelacija između površine grupisanih traheja i broja grupa traheja po mm² ksilema (r = -0,61).



Slika 9. Grafički prikaz linearne korelacije između anatomskih karakteristika reznica klonova *Salix* spp. (kontrolne biljke) koje se mogu dovesti u vezu sa produkcijom biomase. Vrijednosti iz matrice korelacije sa značajnošću p ≤ 0,05 su prikazane uokvirenim kružićima - što je veći i tamniji kružić to je značajnija korelacija. P_POPR_PR – površina poprečnog presjeka reznice; % KS - Procentualno učešće ksilema (primarnog i sekundarnog); BR_TR – Broj traheja po mm² ksilema ; P_TR - Prosječna površina traheja; Kh – teoretska hidraulička provodljivost; Vi – indeks osjetljivosti; BR_PO_TR - Broj pojedinačnih traheja; P_PO_TR - Prosječna površina pojedinačnih traheja; BR_GR_TR - Broj grupisanih traheja; P_GR_TR - Prosječna površina jedne grupisane traheje; BR_GRU_TR - Broj grupa traheja po mm² ksilema; BR_TR_GR - Broj traheja u jednoj grupi; Vg – indeks grupisanja traheja.

Teoretska hidraulička provodljivost, k_h , je u značajnoj pozitivnoj korelaciji sa brojem grupisanih traheja ($r = 0,66$) i brojem grupa traheja ($r = 0,64$). Značajna pozitivna korelacije postoji između k_h i V_g ($r = 0,54$). U značajnoj negativnoj korelaciji sa k_h stoje prosječna površina traheja ($r = -0,46$) i površina grupnih traheja ($r = -0,44$).

Indeks osjetljivosti, V_i , stoji u visokoj negativnoj korelaciji sa brojem traheja po mm^2 ksilema ($r = -0,79$) i značajnim negativnim korelacijama sa brojem grupisanih traheja u ksilemu ($r = -0,67$) i brojem grupa traheja ($r = -0,63$). S druge strane, utvrđena je značajna pozitivna korelacija V_i sa prosječnom površinom traheja u ksilemu ($r = 0,68$), površinom pojedinačnih traheja ($r = 0,57$) i sa površinom grupisanih traheja ($r = 0,46$).

Dokazana je visoka pozitivna korelacija V_g , sa brojem grupisanih traheja ($r = 0,92$) i brojem grupa traheja po mm^2 ksilema ($r = 0,76$), kao i značajna pozitivna korelacija V_g sa brojem traheja u jednoj grupi ($r = 0,56$). Indeks grupisanja nalazi se u značajnoj negativnoj korelaciji sa prosječnom površinom svih traheja ($r = -0,59$) i površinom grupisanih traheja ($r = -0,69$). Visoka negativna korelacija javlja se između V_g i broja pojedinačnih traheja ($r = -0,73$).

5.1.2. Uticaj Cd na anatomske karakteristike reznica klonova vrba

Analiza varijanse je pokazala stepen uticaja faktora tri klona *Salix* spp. ('B-44', 'SV068' i 'SM4041'), zasebnih tretmana Cd 3 i Cd 6 i interakcije klon×tretman Cd na anatomske karaktere nadzemnih i podzemnih segmenata reznica u poređenju sa kontrolom (0 mg Cd/kg) (Tabele P1. i P2.). Poprečni presjek reznica tri klona vrba gajenih u prisustvu Cd 3 i Cd 6 prikazan je u Prilogu (Slike P2. i P3.).

Mnogi anatomske karakteri nadzemnog segmenta reznica klona 'B-44' pokazali su signifikantno povećanje vrijednosti kao odgovor na prisustvo dvije povećane koncentracije Cd, u poređenju sa kontrolnim uzorkom (Tabela P3.; Slika 10A.). Iako koncentracija od Cd 3 nije dovela do značajnog odstupanja proporcija periderma i primarne kore, utvrđeno je da je samo ovaj tretman doveo do signifikantnog povećanja procentualnog učešća sekundarnog floema. U vezi sa tim utvrđen je statistički značajno najmanji odnos između ksilema i sekundarnog floema u prisustvu Cd 3. Nasuprot tome, tretman Cd 6 je signifikantno uticao na procentualne udjele perifernih tkiva, dovodeći do njihovog značajnog povećanja u odnosu na kontrolu.

Dva različita tretmana Cd su imala suprotan uticaj na proporcije sekundarnog ksilema i srži u nadzemnom segmentu reznice klona 'B-44'. Procentualno učešće sekundarnog ksilema je statistički značajno najveće kod reznica tretiranih sa Cd 6. Ove promjene su rezultat varijacija u parametrima traheja reznice klona 'B-44' tretiranog sa dvije različite koncentracije kadmijuma.

Broj pojedinačnih traheja po mm^2 ksilema bio je značajno veći kod klona 'B-44' u prisustvu obe koncentracije Cd. Traheje su imale manju površinu u odnosu na kontrolu, ali je ona značajno odstupala samo u uslovima Cd 6. Odstupanja procentualne zastupljenosti traheja u ksilemu klona 'B-44' i procenta pojedinačnih traheja u uslovima Cd 3 iskazana su u vidu jasnog statistički značajnog porasta vrijednosti. S druge strane, odstupanja ovih parametara u prisustvu koncentracije Cd 6 nisu bila signifikantna u odnosu na kontrolu. Broj grupisanih traheja kao i broj grupa traheja po mm^2 ksilema su se signifikantno smanjili kod reznica tretiranih sa obe koncentracije Cd.

Tretman koncentracijom od Cd 3 je uzrokovao statistički značajno smanjenje vrijednosti teoretske hidrauličke provodljivosti ksilema (k_h) klona 'B-44' u odnosu na kontrolu. Koncentracija od Cd 6 je imala suprotan efekat i dovela je do povećanja ovog parametra u poređenju sa kontrolnim uzorkom. To je posljedica značajnog povećanja broja sitnijih,

pojedinačnih traheja po mm^2 ksilema i smanjenog broja grupisanih traheja po mm^2 ksilema koje su imale značajno veće površine u odnosu na kontrolu. Indeks osjetljivosti je signifikantno veći samo u slučaju tretmana Cd 3 u odnosu na kontrolu, dok je indeks grupisanja značajno manji u slučaju oba tretmana Cd.

Nadzemni segment reznice klona 'SV068' je na prisustvo Cd 3 reagovao statistički značajnim promjenama gotovo svih kvantitativnih karaktera u odnosu na kontrolu. S druge strane, tretman Cd 6 doveo je do značajnog odstupanja samo malog broja anatomskih karaktera. Proporcije periderma i sekundarnog ksilema i odnos ksilema i sekundarnog floema bili su značajno niži, a proporcije sekundarnog floema i srži značajno veće kod reznica tretiranih sa Cd 3, u odnosu na kontrolu. Na ove parametre koncentracija Cd dvostruko viša od maksimalno dozvoljene (Cd 6) nije signifikantno uticala (Tabela P4. i Slika 10B.).

Broj traheja u ksilemu nadzemnog segmenta reznice klona 'SV068' se značajno povećao samo pod uticajem tretmana Cd 3. Dva tretmana Cd imala su suprotan uticaj na broj pojedinačnih traheja, ali nisu značajno djelovale na njihovu površinu, u poređenju sa kontrolom.

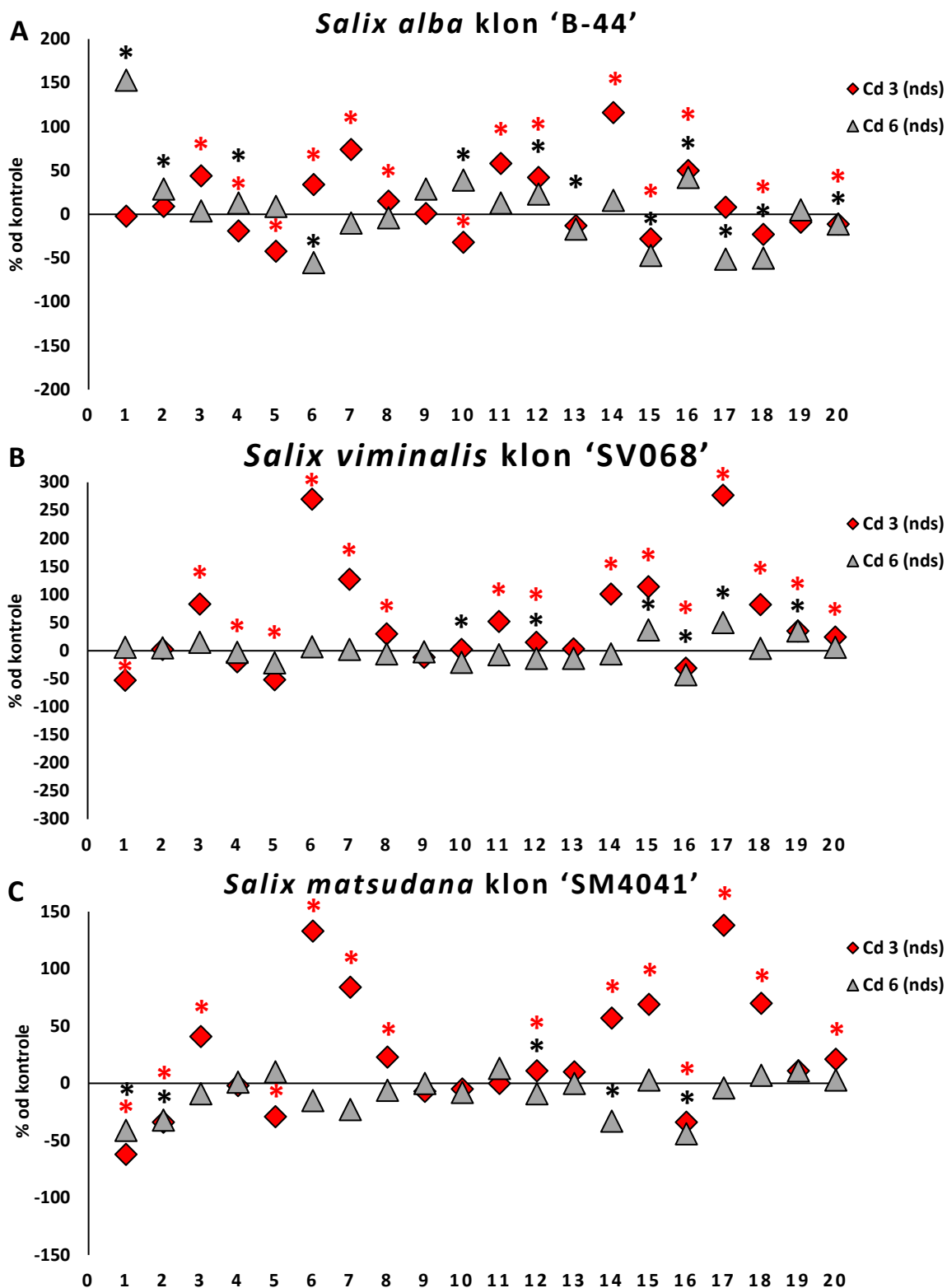
Broj i procentualni udio grupisanih traheja, kao i broj traheja u jednoj grupi signifikantno su se povećali, a površina jedne grupisane traheje značajno smanjila nakon tretmana Cd 3 i Cd 6, u odnosu na kontrolni uzorak. Samo je koncentracija Cd 3 uzrokovala značajno povećanje broja grupa traheja po mm^2 ksilema i V_g u nadzemnom segmentu reznice klona 'SV068', u odnosu na kontrolne reznice (Tabela P4).

Uticaj tretmana Cd 3 nije se značajno odrazio na teoretsku hidrauličku provodljivost u odnosu na kontrolu, za razliku od koncentracije Cd 6 koja je uzrokovala značajno smanjenje ovog parametra nadzemnog segmenta reznice klona 'SV068'. Obrnuta je situacija za indeks osjetljivosti, koji je bio signifikantno povećan u uslovima Cd 3 (Tabela P4. i Slika 10B.).

Nadzemni segment reznice klona 'SM4041' je na uticaj obe koncentracije Cd reagovao značajnim opadanjem procentualnih udjela periderma i primarne kore u poređenju sa kontrolnim uzorkom. Koncentracija Cd 3 je uzrokovala statistički značajno veće proporcije sekundarnog floema i srži, ali značajno smanjen odnos ksilema i sekundarnog floema u odnosu na kontrolni uzorak. Radi poređenja, tretman sa Cd 6 nije signifikantno uticao na proporcije sekundarnog ksilema i sekundarnog floema ni na njihov međusoban odnos, kada se uporedi sa kontrolom (Tabela P5. i Slika 10C.).

Većina parametara traheja nadzemnog segmenta reznice klona 'SM4041' je na tretman Cd 3 reagovala jasnim i signifikantnim povećanjem vrijednosti od kontrolnog uzorka. Broj traheja po mm^2 ksilema i procenat traheja u ksilemu povećali su se u uslovima tretmana Cd 3, zbog viših vrijednosti broja i procentualnog udjela pojedinačnih i grupisanih traheja po mm^2 ksilema, u poređenju sa kontrolom. Pod tretmanom Cd 3 povećao se broj grupa traheja po jedinici površine ksilema, što je dovelo do porasta V_g .

Osjetljivost parametara traheja nadzemnog segmenta reznice klona 'SM4041' na dejstvo tretmana dvostruko većom koncentracijom Cd od maksimalno dozvoljene (Cd 6) zapaža se po statistički značajno nižim vrijednostima broja i procentualnog udjela pojedinačnih traheja u ksilemu i površine jedne grupisane traheje (Slika 10C.). Vrijednosti k_h i V_i kod klona 'SM4041' nisu se značajno razlikovale od kontrole, bez obzira na primjenjeni tretman Cd.



Slika 10. Promjene anatomskih karakterana nadzemnog (nds) segmenta reznice tri klona *Salix* spp. pod uticajem dvije povišene koncentracije Cd. 1 - % periderma; 2 - % primarne kore; 3 - % sekundarnog floema; 4 - % ksilema (primarnog i sekundarnog); 5 - odnos ksilem/sekundarni floem; 6 - % srži; 7 - % traheja u ksilemu; 8 - broj traheja po mm² ksilema; 9 - prosječna površina traheja; 10 - k_n; 11 - V_i; 12 - broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; 13 - površina pojedinačnih traheja; 14 - % pojedinačnih traheja u ksilemu; 15 - broj grupisanih traheja po mm² ksilema; 16 - površina jedne grupisane traheje; 17 - % grupisanih traheja u ksilemu; 18 - broj grupa traheja po mm² ksilema; 19 - broj traheja u jednoj grupi; 20 - V_g. *t* test ukazuje na značajne razlike između kontrolnih i tretiranih reznica, (*): $p \leq 0,05$.

Anatomski karakteri podzemnog segmenta reznice klona 'B-44' su na uticaj tretmana sa dvije povišene koncentracije Cd reagovali značajnim negativnim odstupanjem u poređenju sa kontrolom (Tabela P6. i Slika 11A.).

Statistički značajno povećanje proporcije periderma vidljivo je samo u prisustvu tretmana Cd 6, u odnosu na kontrolne reznice. Tretman nižom koncentracijom od Cd 3 doveo je do značajnog smanjenja procentualnog udjela primarne kore; proporcija sekundarnog floema značajno se povećala od kontrolnih biljaka. Tretman Cd 6 nije uzrokovao značajne promjene ovih tkiva u odnosu na kontrolu. Prisustvo obe koncentracije Cd uzrokovalo je signifikantno smanjenje proporcije srži u podzemnom segmentu reznice klona 'B-44' u odnosu na kontrolu.

Oba tretmana Cd su uzrokovala značajno smanjenje broja traheja po mm^2 i proporcije traheja u ksilemu. Međutim, parametri solitarnih traheja nisu signifikantno odstupali u prisustvu Cd 3. Tretman dvostruko većom koncentracijom Cd uzrokovao je značajno niži broj, ali ne i značajno smanjenje površine pojedinačnih traheja u podzemnom segmentu reznice klona 'B-44'.

Broj grupisanih traheja po mm^2 ksilema i broj grupa traheja po mm^2 ksilema niži su kod podzemnog reznice klona 'B-44' pod uticajem oba tretmana Cd. Međutim, broj traheja u jednoj grupi imao je sličnu vrijednost kod kontrole i oba tretmana, zbog čega nije došlo do značajnih razlika u indeksu grupisanja. Između kontrole i oba Cd tretmana nije ustanovljena statistički značajna razlika u izračunatim vrijednostima k_h i V_i .

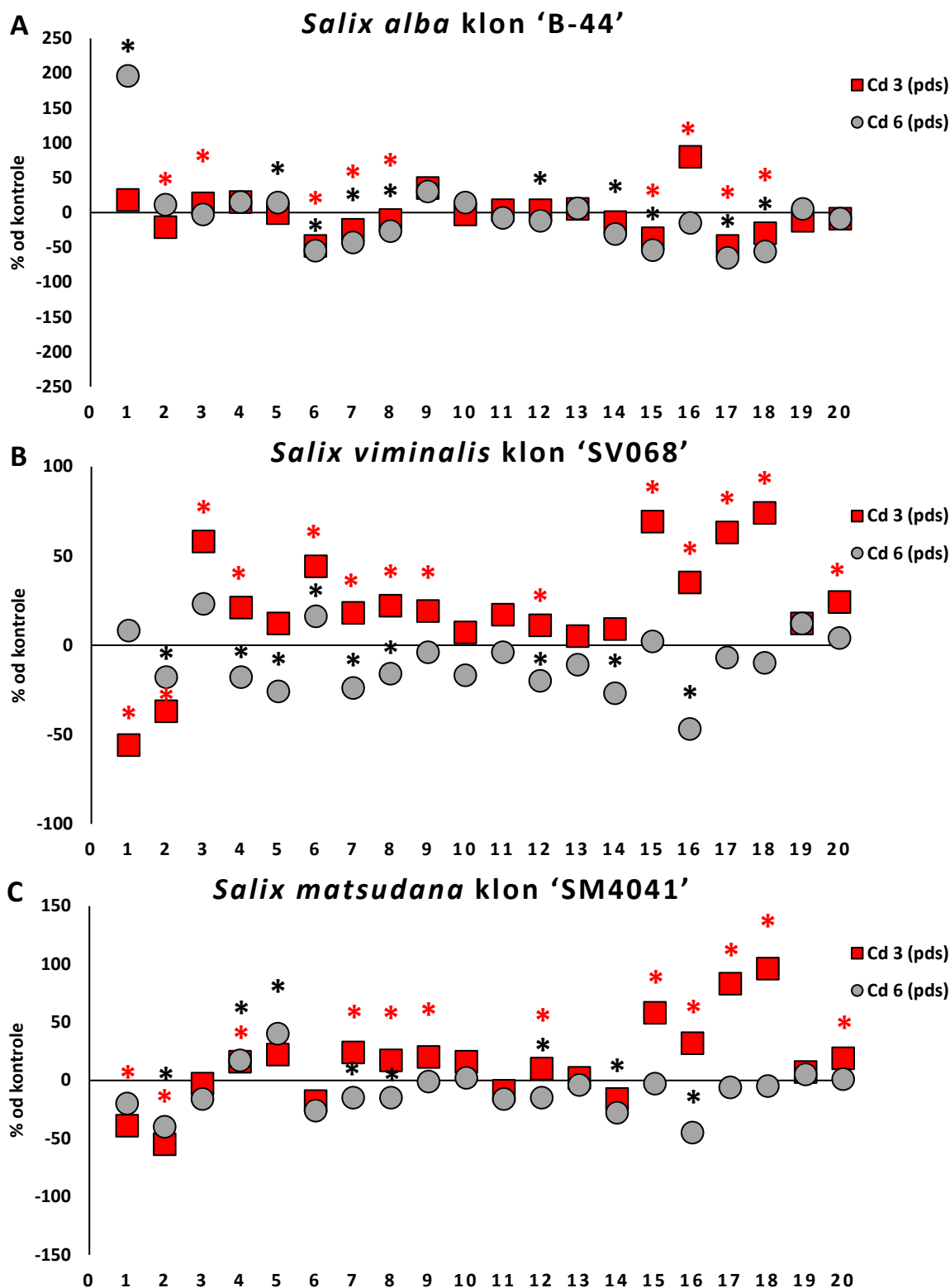
Mnogi anatomski karakteri podzemnog segmenta reznice klona 'SV068' u prisustvu primjenjenih koncentracija Cd pokazuju značajna odstupanja od kontrole, koja su brojnija i pozitivna nakon tretmana Cd 3 (Tabela P7. i Slika 11B.).

Procentualni udio periderma je signifikantno manji samo u prisustvu Cd 3, dok je proporcija primarne kore statistički značajno smanjena u prisustvu obe koncentracije Cd, u odnosu na kontrolu. Procentualni udjeli sekundarnog floema i ksilema statistički značajno veći pri tretmanu Cd 3, ali njihov odnos nije pokazao značajno odstupanje u poređenju sa kontrolom. U prisustvu Cd 6 procenat sekundarnog floema se nije razlikovao od kontrole; ksilem je reagovao značajnim smanjenjem proporcije, dovodeći do smanjenja odnosa ksilem/sekundarni floem. Procenat srži podzemnog segmenta reznice klona 'SV068' je bio signifikantno veći u podzemnom segmentu, nakon tretmana sa obe koncentracije Cd.

Zapaža se suprotan uticaj dva tretmana Cd na procenat i broj traheja po mm^2 ksilema podzemnog segmenta reznice klona 'SV068', koji su statistički značajno povećani u prisustvu Cd 3 i značajno smanjeni u prisustvu Cd 6. Prosječna površina traheja u ksilemu značajno je veća od kontrole samo u uslovima Cd 3. Broj pojedinačnih traheja po mm^2 ksilema podzemnog segmenta reznice klona 'SV068' značajno je porastao u odnosu na kontrolu pod uticajem tretmana Cd 3, ali je značajno smanjen pri tretmanu Cd 6. Kod tretiranih biljaka nije došlo do značajne promjene vrijednosti k_h i osjetljivosti na kavitaciju i emboliju u odnosu na kontrolu, bez obzira na primjenjenu koncentraciju Cd.

Parametri grupisanih traheja podzemnog segmenta reznice klona 'SV068' su na prisustvu Cd 3 reagovali statistički značajno većim vrijednostima u odnosu na kontrolu, usljed čega je značajno povežan V_g . Na parametre grupisanih traheja koncentracija Cd 6 je uticala jedino smanjenjem njihove površine u odnosu na kontrolu (Tabela P7.).

U odnosu na kontrolu, proporcija periderma u podzemnom segmentu reznice klona 'SM4041' bila je značajno manja samo u prisustvu Cd 3. Slično kao kod preostala dva genotipa, pod uticajem oba tretmana Cd došlo je do smanjenja procentualnog udjela primarne kore (Tabela P8. i Slika 11C.).



Slika 11. Promjene anatomskih karakterata podzemnog (pds) segmenta reznice tri klon *Salix* spp. pod uticajem dvije povišene koncentracije Cd. 1 - % periderma; 2 - % primarne kore; 3 - % sekundarnog floema; 4 - % ksilema (primarnog i sekundarnog); 5 - odnos ksilem/sekundarni floem; 6 - % srži; 7 - % traheja u ksilemu; 8 - broj traheja po mm² ksilema; 9 - prosječna površina traheja; 10 - k_h ; 11 - V_i ; 12 - broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; 13 - površina pojedinačnih traheja; 14 - % pojedinačnih traheja u ksilemu; 15 - broj grupisanih traheja po mm² ksilema; 16 - površina jedne grupisane traheje; 17 - % grupisanih traheja u ksilemu; 18 - broj grupa traheja po mm² ksilema; 19 - broj traheja u jednoj grupi; 20 - V_g . *t* test ukazuje na značajne razlike između kontrolnih i tretiranih reznica, (*): $p \leq 0,05$.

Podzemni segment reznice klona 'SV068' pod uticajem obe koncentracije Cd imao je veći procentualni udio ksilema, ali samo u prisustvu Cd 6 zapaža se značajno veći odnos ksilema i sekundarnog floema. Parametri traheja podzemnog segmenta klona 'SM4041' reagovali su pozitivno na tretman Cd 3 što se vidi po većim vrijednostima broja, procenta i prosječne površine traheja u ksilemu. Od parametara solitarnih traheja, u prisustvu Cd 3 signifikantno veći od kontrole je samo njihov broj. Izuzev broja traheja u jednoj grupi, svi ostali parametri grupisanih traheja značajno su se povećali u uslovima Cd 3, u poređenju sa kontrolom.

Za razliku od tretmana Cd 3, koncentracija od Cd 6 imala je suprotan, negativan efekat na parametre traheja podzemnog segmenta reznice klona 'SM4041' u odnosu na kontrolu. Ovaj tretman je uzrokovao statistički značajno niže vrijednosti broja i procenta traheja po mm² ksilema i istih parametara pojedinačnih traheja u ksilemu. Površina jedne grupisane traheje bila je osjetljiva na negativno dejstvo koncentracije od Cd 6, dok ostali parametri grupisanih traheja nisu značajno odstupali u odnosu na kontrolu pri tretmanu Cd 6 (Tabela P8. i Slika 11C.).

5.1.3. Promjene anatomskih osobina reznica klonova vrba tretiranih Cd u prisustvu limunske kiseline

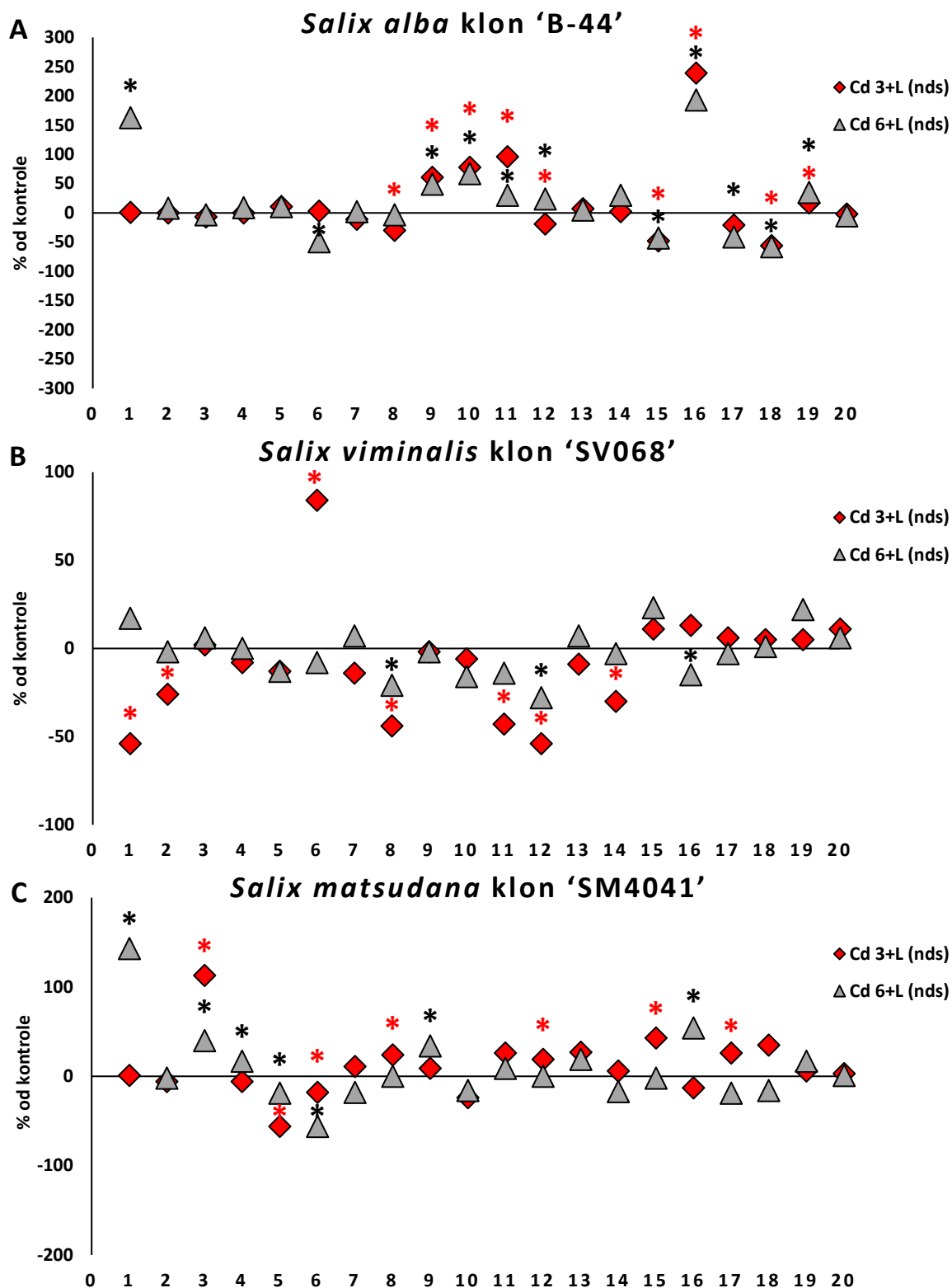
Dvofaktorijalna ANOVA pokazala je statistički značaj uticaja klona, zasebnih tretmana Cd u prisustvu limunske kiseline (Cd 3+L i Cd 6+L) i njihove interakcije na anatomske karaktere podzemnog i nadzemnog segmenta reznica tri klona *Salix* spp. u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (Tabele P9. i P10.). Poprečni presjek reznica klonova vrba gajenih u prisustvu Cd 3+L i Cd 6+L prikazan je u Prilogu (Slike P4. i P5.).

Proporcionalne zastupljenosti većine tkiva u nadzemnom segmentu reznice klona 'B-44' nisu značajno odstupale od kontrole bez obzira na primjenjen tretman Cd u prisustvu limunske kiseline. Zapaža se samo značajan porast proporcije periderma i smanjenja procentualnog udjela srži pod uticajem Cd 6+L (Tabela P11. i Slika 12A.)

Obe koncentracije Cd sa limunskom kiselinom izazvale su značajne promjene u mnogim izmjerenim i izračunatim karakterima traheja nadzemnog segmenta reznice klona 'B-44' u odnosu na kontrolu u prisustvu limunske kiseline. Suprotne efekte oba tretmana Cd sa limunskom kiselinom su imala na broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema. Ovaj parametar je bio značajno snižen pri tretmanu Cd 3+L, a značajno povećan u slučaju tretmana Cd 6+L, u poređenju sa kontrolom.

Pod uticajem oba tretmana Cd u prisustvu limunske kiseline statistički značajno su se povećali površina jedne grupisane traheje i broj traheja u jednoj grupi u nadzemnom segmentu reznice klona 'B-44'. Broj grupisanih traheja i broj grupa traheja po mm² ksilema imali su značajno manje vrijednosti od kontrole, u prisustvu oba tretmana Cd sa limunskom kiselinom. Utvrđene varijacije parametara traheja kao odgovor na dvije povišene koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline dovode se u vezu sa značajnim porastom vrijednosti teoretske hidrauličke provodljivosti i indeksa osjetljivosti. Ali, nije došlo do značajne promjene vrijednosti indeksa grupisanja, u odnosu na kontrolu.

Tretmani povećanim koncentracijama od Cd 3+L i Cd 6+L su u mnogo manjem obimu uticali na odstupanja anatomskih karaktera nadzemnog segmenta reznice klona 'SV068' u odnosu na kontrolu (Tabela P12.). Pored smanjenog procentualnog učešća periderma i primarne kore, tretman Cd 3+L je iznenađujuće uzrokovao veoma istaknuto značajno povećanje procentualnog udjela srži u nadzemnom segmentu u odnosu na kontrolne segmente.



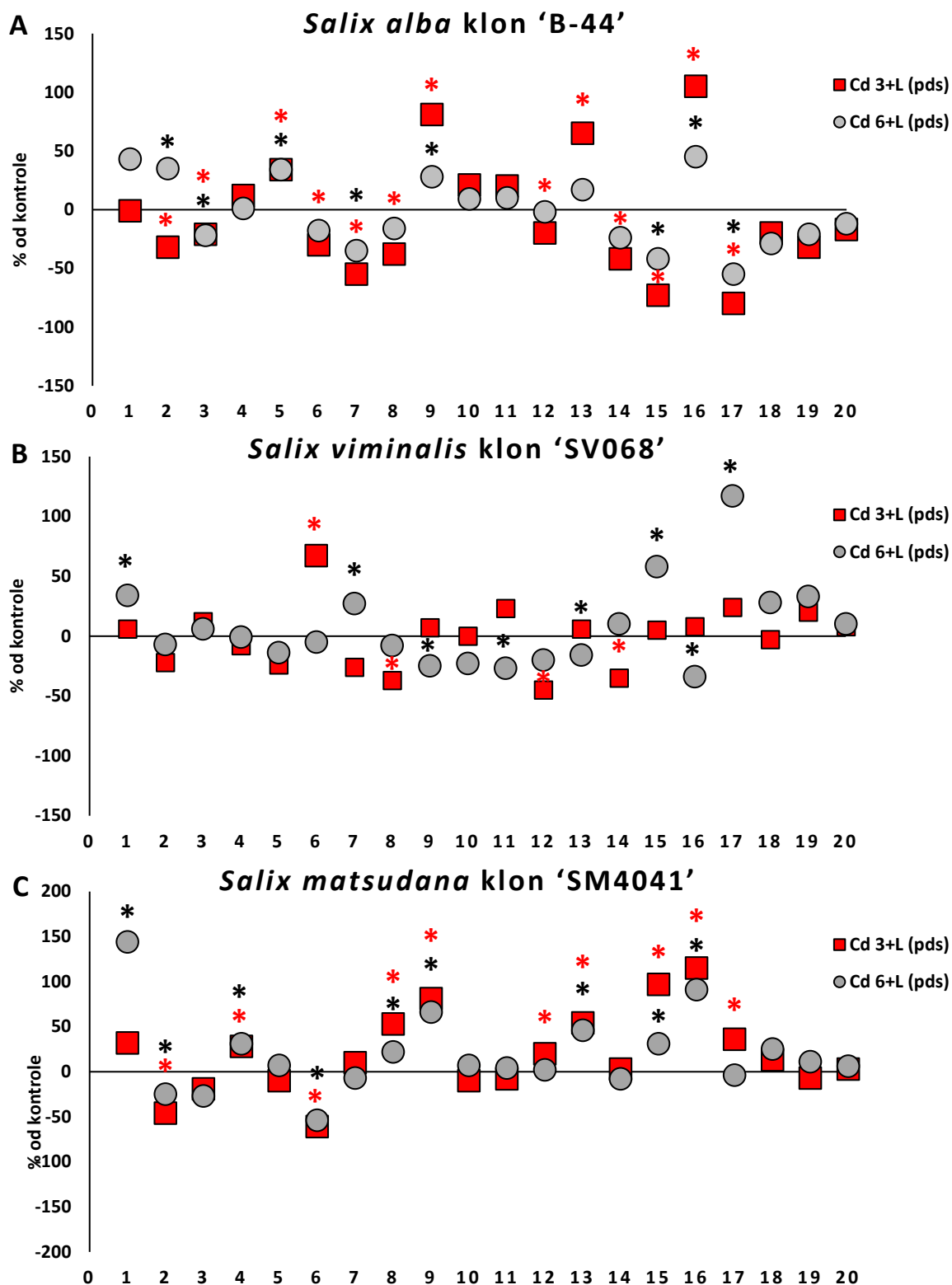
Slika 12. Promjene anatomskih karaktera nadzemnog (nds) segmenta reznice tri klonova *Salix* spp. pod uticajem dvije povišene koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline. 1 - % periderma; 2 - % primarne kore; 3 - % sekundarnog floema; 4 - % ksilema (primarnog i sekundarnog); 5 - odnos ksilem/sekundarni floem; 6 - % srži; 7 - % traheja u ksilemu; 8 - broj traheja po mm² ksilema; 9 - prosječna površina traheja; 10 - k_h ; 11 - V_i ; 12 - broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; 13 - površina pojedinačnih traheja; 14 - % pojedinačnih traheja u ksilemu; 15 - broj grupisanih traheja po mm² ksilema; 16 - površina jedne grupisane traheje; 17 - % grupisanih traheja u ksilemu; 18 - broj grupa traheja po mm² ksilema; 19 - broj traheja u jednoj grupi; 20 - V_g . t test ukazuje na značajne razlike između kontrolnih i tretiranih reznica, (*): $p \leq 0,05$.

Karakterističnosti traheja osjetljivi na tretman Cd 3+L, čije vrijednosti su opale u poređenju sa kontrolom, su broj traheja po mm² ksilema, broj pojedinačnih traheja i indeks osjetljivosti (Slika 12B.). Dvostruko veća koncentracija (Cd 6+L) imala je statistički značajan uticaj tek na nekoliko anatomskih karaktera nadzemnog segmenta reznice klona 'SV068'. Uzrokovala je značajno smanjenje broja traheja po mm² ksilema i broja pojedinačnih traheja, koji su uz površinu grupisane traheje bili najosjetljiviji anatomski karakteri na negativno dejstvo tretmana Cd 6+L (Tabela P12. i Slika 12B.).

U nadzemnom segmentu reznice klona 'SM4041' oba tretmana Cd u prisustvu limunske kiseline su imala veći uticaj na proporcije tkiva nego na parametre traheja (Tabela P13.). Procentualni udio sekundarnog floema bio je statistički značajno povećan, a odnos ksilem/sekundarni floem značajno smanjen kao odgovor na obe koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline, u odnosu na kontrolu. Na isti način je i procenat srži kao osjetljivi karakter reagovao na negativno dejstvo datih tretmana (Slika 12C.). Pored toga, samo tretman Cd 6+L je uzrokovalo statistički značajno povećanje procentualno udjela periderma u nadzemnom segmentu reznice u poređenju sa kontrolom. Procenat ksilema bio je signifikantno povećan kao odgovor na tretman Cd 6+L, što je posljedica povećanja prosječne površine traheja i površine grupisane traheje u nadzemnom segmentu reznice klona 'SM4041' u poređenju sa kontrolom. Tretman Cd 6+L nije značajno uticao na brojnost pojedinačnih i grupnih traheja (Tabela P13.).

Oba tretmana Cd sa limunskom kiselinom imala su značajan uticaj na veći broj anatomskih karaktera podzemnog segmenta reznice klona 'B-44' u odnosu na nadzemni segment (Tabela P14.). Procentualni udio primarne kore značajno se smanjio u uslovima Cd 3+L, ali značajno je povećan pod uticajem Cd 6+L. Proporcija sekundarnog floema bila je značajno niža i u skladu s tim odnos ksilema i sekundarnog floema značajno veći u prisustvu oba tretmana, u odnosu na kontrolu. Procentualni udio srži je bio signifikantno niži od kontrole samo u prisustvu Cd 3+L. Karakteri traheja su bili posebno osjetljivi na tretman sa obe koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline, koje su dovele do njihovih statistički značajno manjih vrijednosti u poređenju sa kontrolnim reznicama (Slika 13A). Ksilem podzemnog segmenta klona 'B-44' je reagovao na tretman Cd 3+L smanjenim brojem traheja po mm² ksilema, koje su imale statistički značajno veći lumen od kontrole. Variranje ovih parametara je uzrokovano signifikantnim smanjenjem broja i povećanjem lumena solitarnih i grupnih traheja. Nasuprot tome, nešto niži broj traheja po mm² ksilema u uslovima Cd 6+L nije se statistički značajno razlikovao od kontrole, ali je njihova površina bila značajno veća. Ovaj tretman je uticao na statistički značajno povećanje broja i smanjenje površine grupisane, ali ne i solitarnih traheja u odnosu na kontrolni uzorak. Vrijednosti k_h , V_i i V_g nisu se značajno razlikovale od kontrole, bez obzira na tretman Cd u prisustvu limunske kiseline (Tabela P14.).

Koncentracije od Cd 3+L i Cd 6+L značajno su uticale na mali broj anatomskih karaktera podzemnog segmenta reznice klona 'SV068' (Tabela P15.). Pod tretmanom Cd 3+L zapaža se jasno i značajno povećanje procentualnog udjela srži, dok proporcije ostalih tkiva pri Cd 3+L nisu značajno odstupale u poređenju sa kontrolom (Slika 13B.). Od parametara traheja samo broj traheja po mm² ksilema i broj i procenat solitarnih traheja pokazuju značajno opadanje u odnosu na kontrolu. Vrijednosti k_h , V_i i V_g nisu bile statistički značajno različite kod klona 'SV068' prisustvu Cd 3+L. Koncentracija od Cd 6+L uzrokovala je statistički značajno povećanje procenta periderma, ali nije dovela do promjene proporcija ostalih tkiva u podzemnom segmentu reznice klona 'SV068'. Značajno smanjena prosječna površina traheja uzrokovana je značajno manjim površinama solitarnih i grupne traheje nakon tretmana Cd 6+L, u odnosu na kontrolu. Indeks osjetljivosti je bio statistički značajno manji nakon tretmana Cd 6+L, zbog čega se smanjila vrijednost k_h u poređenju sa kontrolom, iako ne značajno.



Slika 13. Promjene anatomskih karakterata podzemnog (pds) segmenta reznice tri klon *Salix* spp. pod uticajem dvije povišene koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline. 1 - % periderma; 2 - % primarne kore; 3 - % sekundarnog floema; 4 - % ksilema (primarnog i sekundarnog); 5 - odnos ksilem/sekundarni floem; 6 - % srži; 7 - % traheja u ksilemu; 8 - broj traheja po mm² ksilema; 9 - prosječna površina traheja; 10 - k_h ; 11 - V_i ; 12 - broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; 13 - površina pojedinačnih traheja; 14 - % pojedinačnih traheja u ksilemu; 15 - broj grupisanih traheja po mm² ksilema; 16 - površina jedne grupisane traheje; 17 - % grupisanih traheja u ksilemu; 18 - broj grupa traheja po mm² ksilema; 19 - broj traheja u jednoj grupi; 20 - V_g . t test ukazuje na značajne razlike između kontrolnih i tretiranih reznica, (*): $p \leq 0,05$.

Zapaža se da je u podzemnom segmentu reznice klon 'SM4041' tretman Cd 6+L uzrokovao signifikantno povećanje proporcije periderma u poređenju sa kontrolnim uzorkom (Tabela P16.). Tretmani sa dvije povišene koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline uzrokovali su statistički značajno niže vrijednosti procentualnih udjela primarne kore i srži. Proporcija ksilema je bila veća u uslovima oba primjenjena Cd tretmana sa limunskom kiselinom. Porast ovog parametra je u vezi sa značajnim povećanjem broja traheja po mm² ksilema i prosječne površine traheja, povećanjem površine solitarnih traheja i površine grupisane traheje, u odnosu na kontrolne reznice. Prisustvo Cd 3+L imalo je pozitivno dejstvo na broj pojedinačnih traheja. Značajan porast broja grupisanih traheja u odnosu na kontrolu uzrokovan je dodatkom obe koncentracije Cd sa limunskom kiselinom. Vrijednosti k_h , V_i i V_g nisu značajno odstupale od kontrole, bez obzira na tretman Cd + L (Slika 13C.).

5.1.4. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova klonova vrba

Adventivni korijeni tri *Salix* spp. klonova u analiziranoj regiji karakterišu se sekundarnom građom sa tri zone tkiva: pokorično tkivo (periderm), sekundarni korteks (floem) i drvo, koje obuhvata primarni i sekundarni ksilem. Na površini pojedinih korijenova zapažaju se ostaci primarne građe u vidu razorenog parenhima primarnog korteksa. Sekundarni korteks korijena klonova vrba izgrađen je od parenhimskih ćelija okruglog do ovalnog oblika. U korteksu su prisutne tangencijalno raspoređene grupe sklerifikovanih ćelija (Slika 14. A, D, G). Provodno tkivo korijena sastoji se od primarnog i sekundarnog ksilema. Sekundarni ksilem je difuzno-poroznog tipa, traheje su uglavnom solitarne, ali na poprečnom presjeku se uočavaju i male radijalne grupe sastavljene od po 2 traheje (Slika 14. B, E, H). Primarni ksilem je prisutan u centralnom dijelu korijena i njegov oblik varira od triarhnog npr. kod klon 'SV068', tetrarhnog koji je zapažen kod klon 'B-44' do pentarhnog, zapaženog kod klon 'SM4041' (Slika 14. C, F, I). Poprečni presjek korijenova gajenih u prisustvu limunske kiseline prikazan je u prilogu (Slika P6.).

Analizom anatomskih karaktera adventivnih korijena tri klonova vrba, gajenih na zemljištu bez tretmana Cd (kontrolne biljke), utvrđeno je da se klon 'B-44' statistički značajno razlikuje od klonova 'SV068' i 'SM4041' u većini izmjerenih parametara (Tabela 17.).

Klon 'B-44' se karakteriše statistički značajno najvećim vrijednostima: površine poprečnog presjeka i dijametara korijena, gustine i ukupne površine lumena traheja, površina lumena i dijametara pojedinačnih traheja i procenata traheja u II i III grupi.

Kada se međusobno porede analizirani klonovi, evidentno je da se klon 'SV068' karakterisao statistički značajno najmanjim vrijednostima površine poprečnog presjeka i dijametara korijena i parametara pojedinačnih traheja.

Klon 'SM4041' se prema izmjerenim vrijednostima parametara korijena u određenoj mjeri nalazi između preostala dva klonova, imajući statistički značajno najveću površinu parenhimskih ćelija korteksa i u vezi sa tim najveći procenat sekundarnog korteksa.

Razmatrajući procentualni udio traheja u svakoj grupi procenata dijametara traheja, klon 'B-44' se odlikovao najvećim procentualnim učešćem traheja sa dijametrima od 20 do 40 μ m (II grupa). Klon 'SV068' imao je najveći procentualni udio traheja u I grupi, sa dijametrima manjim od 20 μ m.

Tabela 17. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova klonova *Salix* spp. (kontrolni uzorak): srednja vrijednost \pm standardna greška (koeficijent varijacije, %).

Anatomski parametri korijena	klon <i>Salix</i> spp.		
	'B-44'	'SV068'	'SM4041'
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	6,06 \pm 1,83 (67,6) a*	1,82 \pm 0,09 (11,3) c	3,91 \pm 0,75 (42,9) b
D poprečnog presjeka (μm)	850 \pm 13,4 (35,3) a	478 \pm 10,4 (4,87) c	684 \pm 65,4 (21,4) b
% Periderma	3,51 \pm 0,53 (35,3) a	4,64 \pm 0,32 (15,6) a	5,42 \pm 0,44 (18,0) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	19,2 \pm 3,01 (35,0) b	20,9 \pm 2,26 (24,1) b	33,2 \pm 5,18 (34,8) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	172 \pm 32,7 (42,4) b	92,9 \pm 13,6 (32,8) c	244 \pm 57,4 (52,7) a
% Drveta (primarni i sekundarni ksilem)	32,0 \pm 3,20 (22,4) a	34,0 \pm 2,40 (15,7) a	21,7 \pm 1,69 (17,4) b
Odnos drvo/kora	1,74 \pm 0,12 (15,9) a	1,70 \pm 0,19 (25,7) a	0,71 \pm 0,11 (35,2) a
GT (N/mm ²)	81,0 \pm 19,7 (54,8) a	42,8 \pm 5,21 (27,2) b	41,6 \pm 7,68 (41,3) b
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	6,31 \pm 2,55 (90,5) a	1,32 \pm 0,17 (28,9) c	2,38 \pm 0,70 (64,8) b
Relativni LT (%)	29,1 \pm 2,06 (15,8) a	20,9 \pm 1,66 (17,7) b	27,2 \pm 1,75 (14,4) a
Individualni LT (μm^2)	780 \pm 25,7 (45,4) a	308 \pm 12,2 (28,2) c	573 \pm 31,4 (50,4) b
Individualni DT (μm)	29,9 \pm 0,50 (22,6) a	18,9 \pm 0,40 (15,3) c	24,9 \pm 0,72 (29,0) b
% Traheja u I grupi	22,0 \pm 7,05 (71,7) c	54,0 \pm 9,33 (38,7) a	29,4 \pm 16,5 (12,6) b
% Traheja u II grupi	66,8 \pm 3,63 (12,1) a	46,0 \pm 9,34 (45,3) c	62,1 \pm 14,9 (53,7) b
% Traheja u III grupi	11,2 \pm 6,60 (13,3) a	0,00 \pm 0,00 (0,00) c	8,57 \pm 6,76 (17,6) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	2,80 \pm 1,46 (11,6) a	0,21 \pm 0,05 (46,8) c	0,88 \pm 0,44 (11,2) b
V_i	0,39 \pm 0,04 (27,8) c	0,47 \pm 0,06 (26,6) b	0,74 \pm 0,15 (44,0) a

*Različito malo slovo ukazuje na statistički značajne razlike između analiziranih klonova, prema *t* testu ($p \leq 0,05$).

P – površina, D – dijametar, GT – gustina traheja, LT – površina lumena traheja na poprečnom presjeku, DT – dijametar traheja na poprečnom presjeku, I grupa – traheje dijametra $< 20 \mu\text{m}$, II grupa – traheje dijametra od 20 do $40 \mu\text{m}$, III grupa traheje dijametra $> 40 \mu\text{m}$, k_h – teoretska hidraulička provodljivost, V_i – indeks osjetljivosti.

Kod analiziranih korijena klonova vrba postoji statistički značajna razlika u vrijednostima teoretske hidrauličke provodljivosti i indeksa osjetljivosti traheja. Najveća teoretska hidraulička provodljivost ksilema adventivnih korijenova klonova vrba izračunata je kod klona 'B-44' ($2,80 \cdot 10^{-6} \text{ kg m MPa}^{-1} \text{ s}^{-1}$), koji se karakteriše i najvećom gustinom traheja kao i statistički značajno najvećom površinom i dijametrom pojedinačnih traheja. Klon 'SV068' se odlikuje najmanjom vrijednošću k_h ($0,21 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6} \text{ kg m MPa}^{-1} \text{ s}^{-1}$) a ujedno i najmanjim vrijednostima gustine, površine lumena i dijametra pojedinačnih traheja. Po vrijednostima k_h ($0,88 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6} \text{ kg m MPa}^{-1} \text{ s}^{-1}$) i karaktera traheja, klon 'SM4041' se nalazi između prethodno pomenuta dva klona. Vrijednosti indeksa osjetljivosti ka kavitaciji (V_i) prate niz: 'B-44' $<$ 'SV068' $<$ 'SM4041' (Tabela 17.).

Slika 14. Poprečni presjek adventivnih korijena tri klonova *Salix* spp. (kontrolne biljke):

A, B, C – *Salix alba* klon 'B-44';

D, E, F – *Salix viminalis* klon 'SV068';

G, H, I – *Salix matsudana* klon 'SM4041'.

Oznake:

pk – ostaci primarne kore

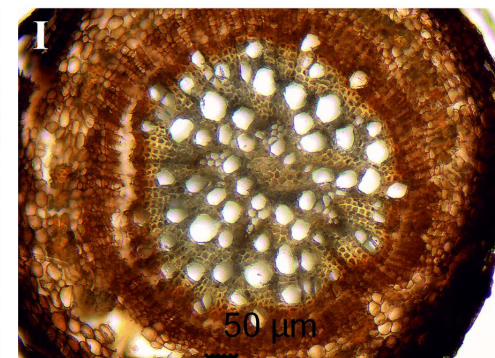
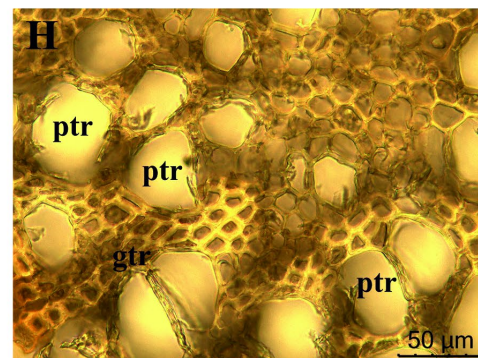
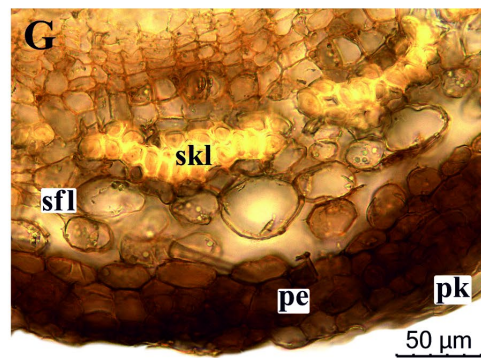
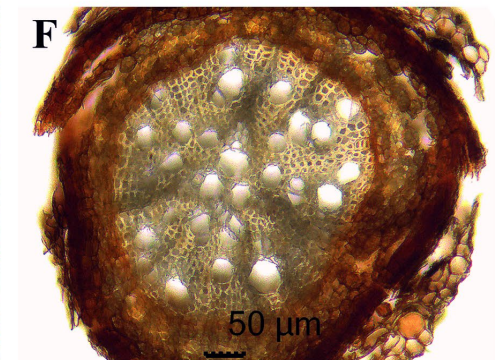
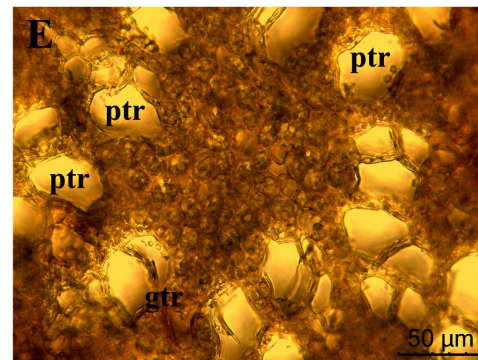
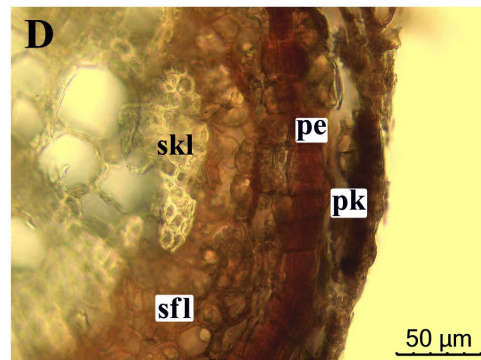
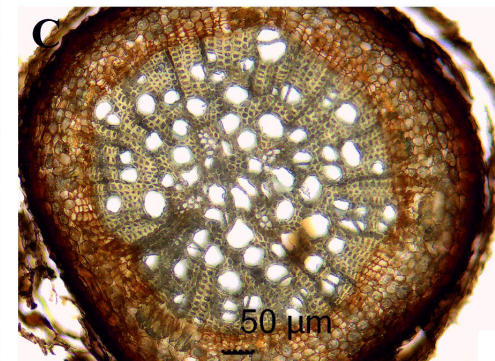
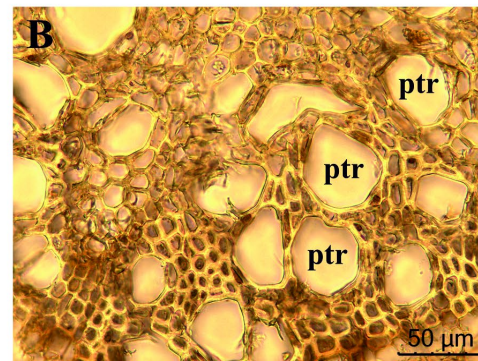
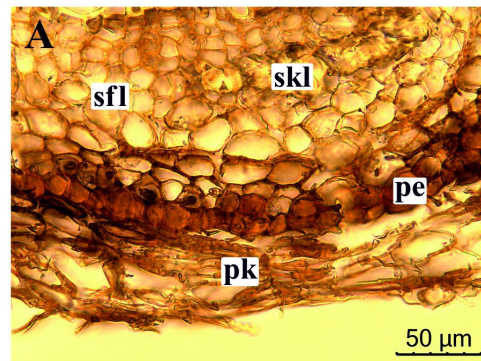
pe – periderm

sfl – sekundarni floem

skl – sklerifikovane ćelije

ptr – pojedinačne traheje

gtr – grupisane traheje.



5.1.4.1. Analiza osnovnih komponenti anatomskih parametara korijena

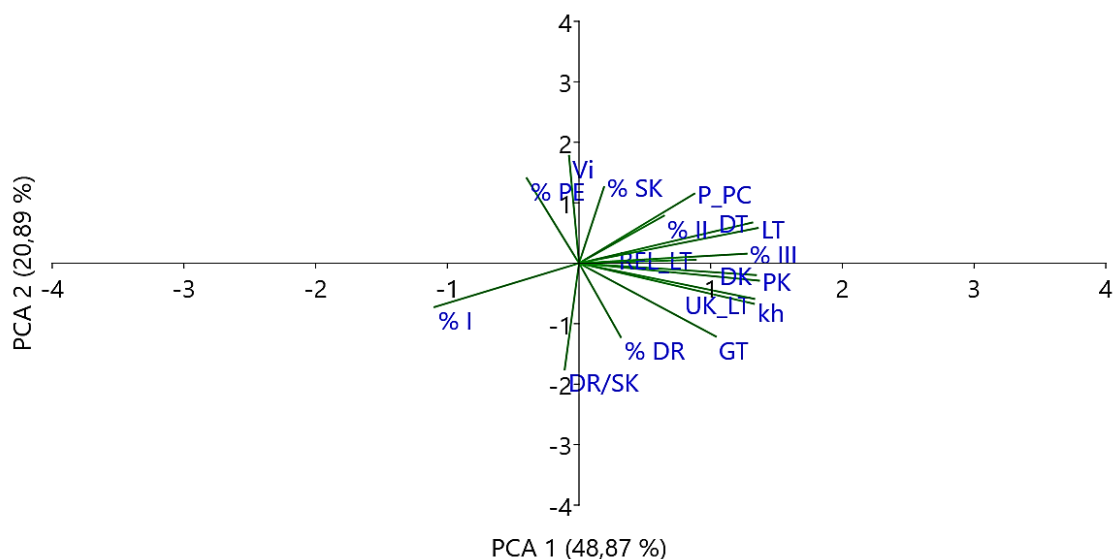
Rezultati PCA analize odabranih kvantitativnih karaktera korijena, sprovedene na nivou tri klona *Salix* spp. pokazali su da se izdvajaju četiri osnovne komponente koje definišu 91,21 % varijacije uzorka (Tabela 18.). Prva osnovna komponenta objašnjava 48,86 % od ukupne varijacije. Karakteri koji u najvećoj mjeri doprinose razdvajanju klonova na prvoj osi su: površina poprečnog presjeka i dijametar korijena, gustina traheja, ukupni lumen traheja, lumen i dijametar pojedinačnih traheja, procentualni udio traheja u I i III grupi i teoretska hidraulička provodljivost.

Tabela 18. Prikaz kvantitativnih karaktera korijena od značaja za varijabilnost tri klona *Salix* spp.

Karakter korijena	PCA 1	PCA 2	PCA 3	PCA 4
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	-0,9564*	0,1315	0,0069	-0,1723
D poprečnog presjeka (μm)	-0,9402	0,0897	0,1155	-0,2621
% Periderma	0,2778	-0,6432	-0,5212	0,4159
% Sekundarnog korteksa (floema)	-0,1327	-0,5763	-0,7742	0,1189
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	-0,6127	-0,5262	-0,0269	-0,0079
% Drveta (primarni i sekundarni ksilem)	-0,2218	0,5585	-0,0248	0,7845
Odnos drvo/sekundarni korteks	0,0762	0,8036	0,4625	0,1744
GT (N/mm ²)	-0,7272	0,5542	-0,3538	-0,0717
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	-0,9293	0,3066	-0,1386	0,0065
Relativni LT (%)	-0,6200	-0,0260	-0,4638	-0,1116
Individualni LT (μm^2)	-0,9498	-0,2667	0,0953	0,0692
Individualni DT (μm)	-0,9206	-0,3081	0,2106	0,0913
% Traheja u I grupi	0,7682	0,3317	-0,4886	-0,1832
% Traheja u II grupi	-0,4513	-0,3596	0,7239	0,1653
% Traheja u III grupi	-0,8905	-0,0725	-0,2614	0,1031
$k_h \cdot 10^{-6}$	-0,9312	0,2694	-0,1653	0,0141
V_i	0,0532	-0,8132	0,4917	-0,0063
Expl.Var	8,3070	3,5517	2,6127	1,0338
Prp.Totl	0,4886	0,2089	0,1537	0,0608

*Istaknute su vrijednosti za nivo značajnosti > 0,7000. P – površina, D – dijametar, GT – gustina traheja, LT – lumen traheja, DT – dijametar traheja.

Druga osnovna komponenta objašnjava 20,89 % od ukupne varijabilnosti i definišu je odnos drvo/kora i indeks osjetljivosti. Procentualni udio sekundarnog korteksa i procenat traheja u II grupi definišu treću osnovnu komponentu, doprinoseći ukupnoj varijaciji sa 15,37 %. Procentualni udio drveta je jedini karakter od značaja za razdvajanje klonova na četvrtoj osi, sa učešćem od 6,08 % od ukupne varijacije (Slika 15.).



Slika 15. Grafički prikaz varijabilnosti anatomskih karakterata adventivnih korijenova tri klonova *Salix* spp. (kontrolni uzorak) dobijen na osnovu PCA metode. PK – površina poprečnog presjeka korijena; D – diameter korijena na poprečnom presjeku; % PE – procenat periderma; % SK – procenat sekundarnog korteksa (floema); P_PC – površina ćelija parenhima sekundarnog korteksa; % DR – procenat drveta (primarni i sekundarni ksilemi); DR/SK – odnos drvo/sekundarni korteks; GT – gustina traheja; UK_LT – ukupni lumen traheja; REL_LT – relativni lumen traheja (%); LT – individualni lumen traheja; DT – individualni diameter traheja; % I, % II, % III – grupe traheja prema procentima dijametara (I grupa - diameter < 20 μm , II grupa - diameter od 20 do 40 μm , III - grupa diameter > 40 μm); k_h – teoretska hidraulička provodljivost, V_i – indeks osjetljivosti.

5.1.4.2. Diskriminantna analiza anatomskih karakterata adventivnih korijenova klonova vrba

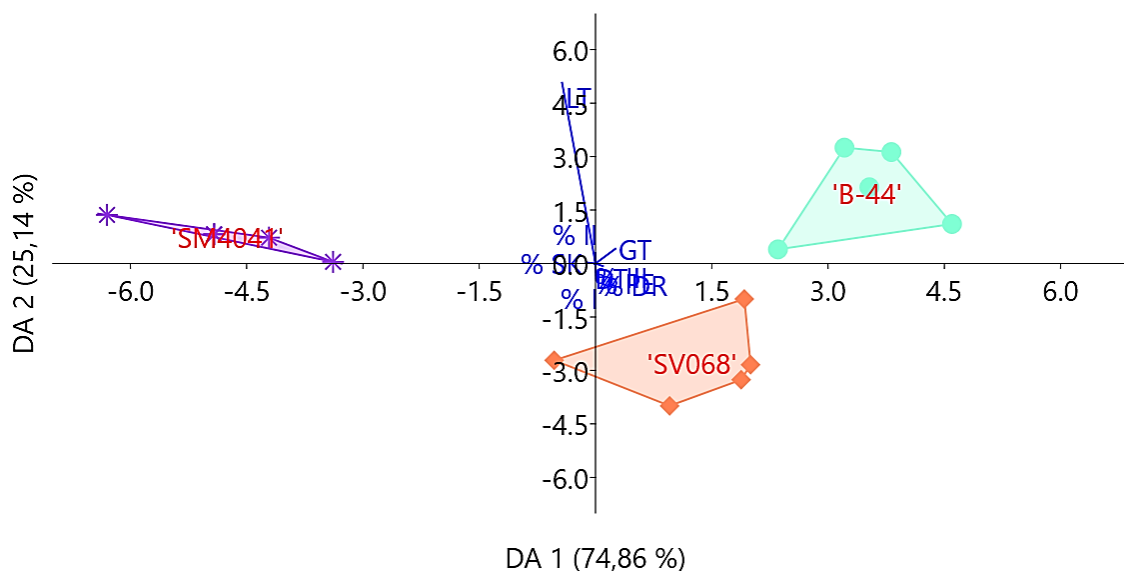
Diskriminantna analiza kvantitativnih anatomskih karakterata korijena tri klonova *Salix* spp. (kontrolni uzorak) provedena je sa odabranim anatomskim karakterima, pri čemu su iz analize isključeni zbirni karakteri (ukupna površina lumena traheja, relativni lumen traheja, k_h i V_i). Rezultati analize diskriminantne funkcije pokazali su koji karakteri imaju značaj za model razdvajanja klonova na diskriminantnim osama (Tabela 19.). Prve dvije ose definišu 100 % diskriminacije uzorka.

Tabela 19. Diskriminantna analiza odabranih kvantitativnih anatomskih karakterata korijena tri klonova *Salix* spp. (kontrolni uzorak) i nivoi opterećenja prve dvije diskriminantne ose

Parametri korijena	DA 1	DA 2
% peridermisa	-5,2841*	3,7247
% sekundarne kore	4,6055	-4,6979
% drvo	1,7108	0,7043
GT	1,3707	-1,9350
LT	42,1073	-24,7640
DT	-55,0062	31,8706
% I grupa	23725,51	-19185,9
% II grupa	21079,86	-17044,4
% III grupa	11083,59	-8961,6
Sopstvene vrijednosti	15,1531	5,0894
Kumulativni procenat	0,7486	0,2514

*Istaknute su vrijednosti za nivo značajnosti > 0,7000. GT – gustina traheja, LT – individualni lumen traheja, DT – individualni diameter traheja

Razdvajanje na prvoj osi iznosi 74,86 %. Druga osa definiše preostalih 25,14 % diskriminacije uzorka. Set anatomskih karakterata korijenova od značaja za razdvajanje klonova obuhvata procentualne udjele periderma, sekundarnog korteksa i drveta (primarni i sekundarni ksilem), gustinu traheja, individualni lumen i dijametar traheja i procenat traheja u I, II i III grupi. Po ovim karakterima se izdvaja klon 'B-44' na pozitivnom kraju prve diskriminantne ose dok se klon 'SM4041' izdvaja na suprotnom, negativnom kraju prve ose. Druga diskriminantna osa na negativnom kraju jasno izdvaja klon 'SV068' (Slika 16.).



Slika 16. Grafički prikaz položaja klonova *Salix* spp. (kontrolni uzorak) u prostoru prve i druge diskriminantne ose, na osnovu kvantitativnih anatomskih karakterata korijena. % PE – % periderma, % SK – % sekundarnog korteksa (floema); % DR – % drveta (primarni i sekundarni ksilem); GT – gustina traheja; LT – individualni lumen traheja; DT – individualni dijametar traheja; % I, % II, % III – grupe traheja prema procentima dijametara (I grupa - dijametar < 20 μ m, II grupa - dijametar od 20 do 40 μ m, III - grupa dijametar > 40 μ m).

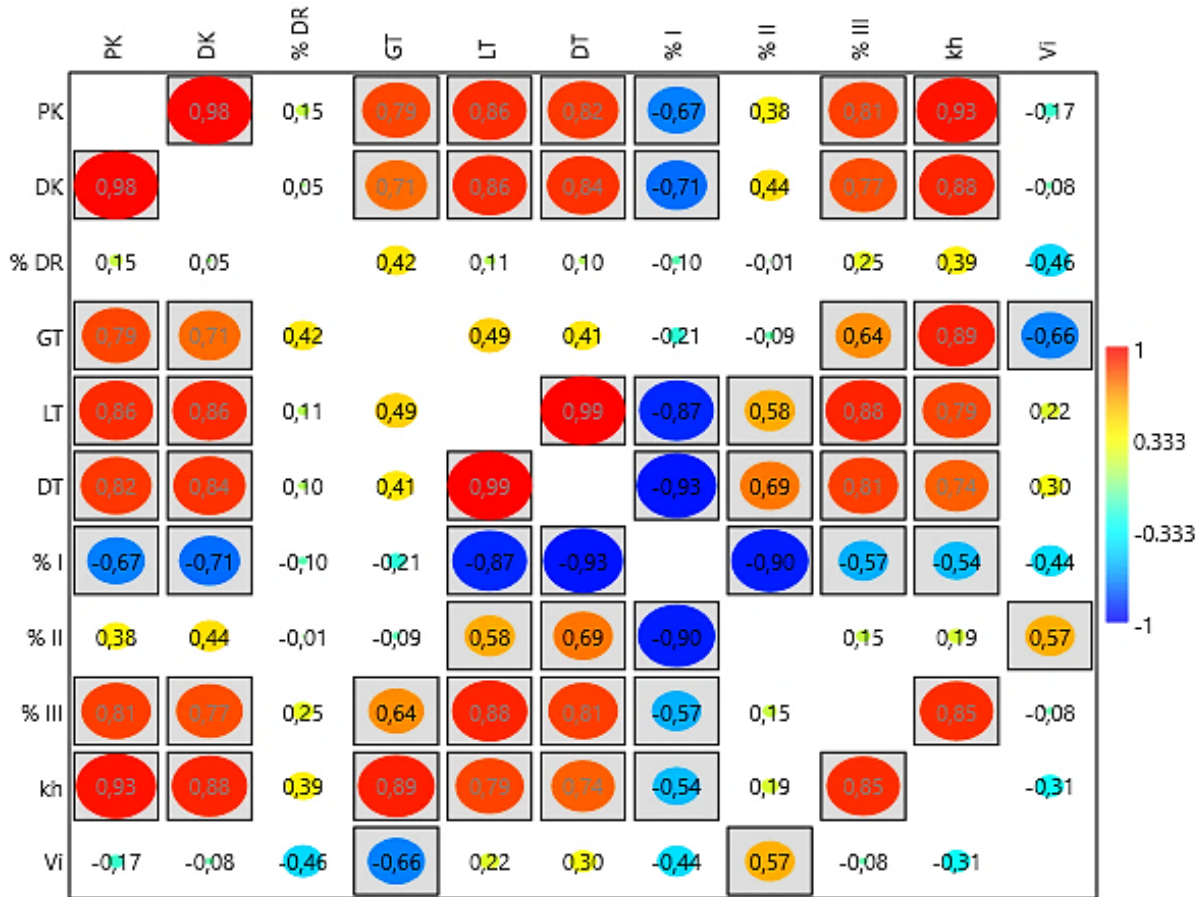
5.1.4.3. Korelaciona analiza anatomskih karakterata adventivnih korijenova klonova vrba

Rezultati korelacione analize anatomskih parametara korijena klonova *Salix* spp., koji se mogu dovesti u vezu sa produkcijom biomase (Slika 17.), pokazuju postojanje visokih pozitivnih korelacionih veza površine korijena na poprečnom presjeku sa: gustinom traheja ($r=0,79$), veličinom lumena pojedinačnih traheja ($r=0,86$), kao i sa procentualnim učešćem traheja u III grupi ($r=0,81$) i teoretskom hidrauličkom provodljivošću ($r=0,93$). Utvrđena je značajna negativna korelacija površine korijena na poprečnom presjeku sa procentualnim učešćem traheja u I grupi ($r=-0,67$).

Dijametar korijena se takođe nalazi u visokim pozitivnim korelacionim vezama sa istim parametrima kao i površina korijena: gustinom traheja ($r=0,71$), lumenom ($r=0,86$) i dijametrom ($r=0,84$) pojedinačnih traheja, procentualnim učešćem traheja u III grupi ($r=0,77$) i teoretskom hidrauličkom provodljivošću ($r=0,88$). Utvrđena je visoka negativna korelacija dijametara korijena sa procentualnim učešćem traheja u I grupi ($r=-0,71$).

Veze lumena i dijametara traheja sa procentualnim učešćima traheja u klasama njihovih dijametara su različitog karaktera: korelacije sa procentualnim učešćem traheja u I grupi su visoke, negativne ($r=-0,87$ i $-0,93$), sa procentualnim učešćem traheja u II grupi su značajne i pozitivne ($r=0,58$ i $0,69$), dok su sa procentualnim učešćem traheja u III grupi visoke i pozitivne ($r=0,88$ i $0,81$).

Utvrđeno je da postoje visoke pozitivne korelacije između k_h i gustine traheja ($r= 0,89$), lumena ($r= 0,79$) i dijametra ($r= 0,74$) pojedinačnih traheja. Veza k_h i procentualnog učešća traheja u I grupi je značajna, negativna ($r= -0,54$), dok je veza sa procentualnim učešćem traheja u III grupi visoka, pozitivna ($r= 0,85$). Indeks osjetljivosti na kavitaciju i emboliju koreliše značajno negativno sa gustinom traheja ($r= -0,66$), a značajno pozitivno sa procentualnim učešćem traheja u II grupi ($r= 0,57$).



Slika 17. Grafički prikaz Pirsonovog koeficijenta linearne korelacije anatomskih i morfoloških karakterna korijena tri kloni *Salix* spp. (kontrolni uzorak) koje se mogu dovesti u vezu sa produkcijom biomase. Vrijednosti iz matrice korelacije sa značajnošću $p \leq 0,05$ su prikazane uokvirenim kružićima - što je veći i tamniji kružić to je značajnija korelacija. PK – površina poprečnog presjeka korijena; DK – dijametar korijena; % DR - Procentualno učešće drveta (primarni i sekundarni ksilem); GT – gustina traheja; LT – površina lumena traheja; DT – dijametar traheja; % I - Procentualno učešće traheja u I grupi (dijametar < 20 μm); % II - Procentualno učešće traheja u II grupi (dijametar od 20 do 40 μm); % III - Procentualno učešće traheja u III grupi (dijametar > 40 μm); k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti.

5.1.5. Uticaj kadmijuma na anatomske karaktere adventivnih korijena tri klona *Salix* spp.

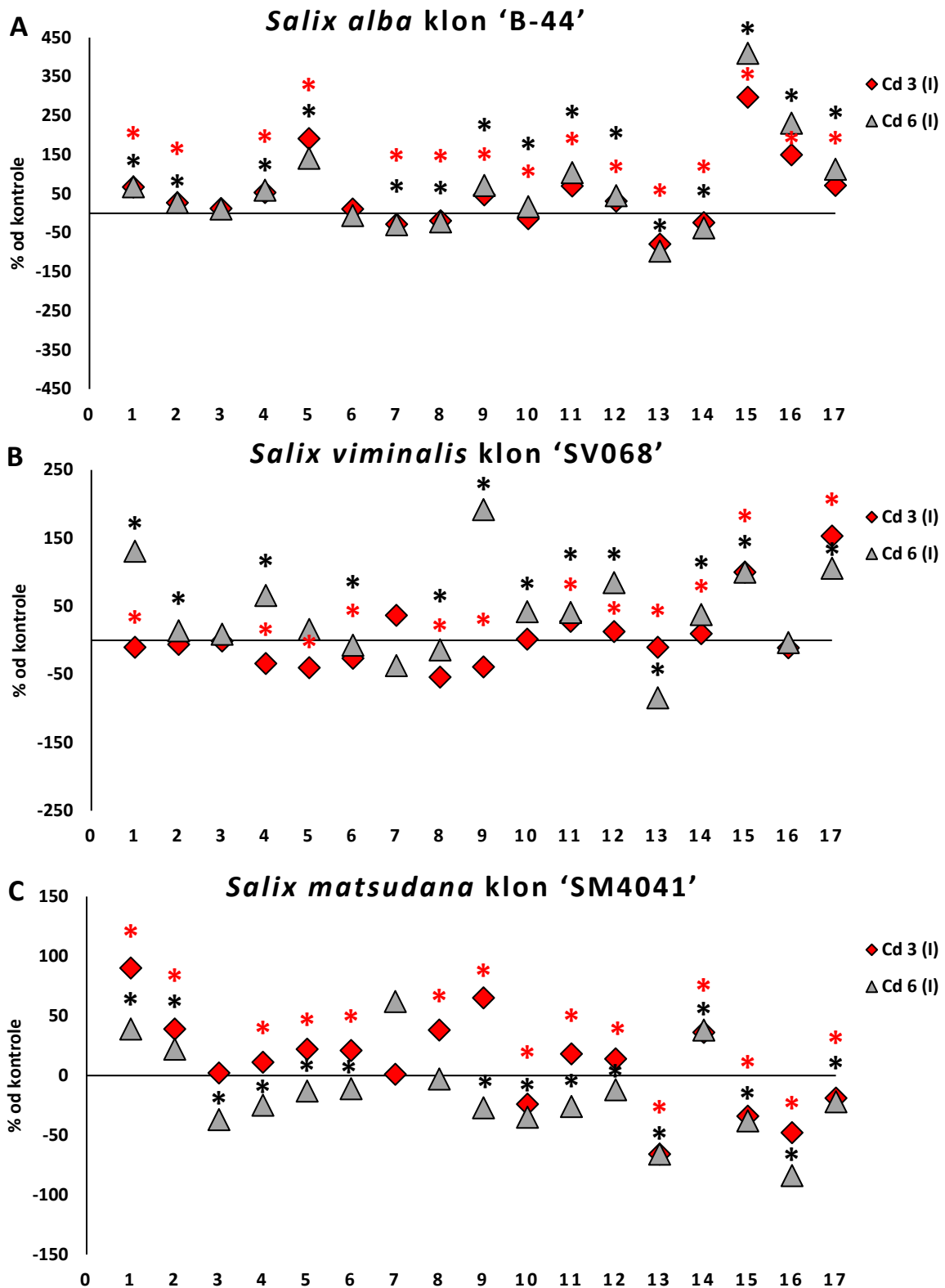
Trofaktorijalna analiza varijanse je pokazala stepen uticaja nezavisnih faktora klona ('B-44', 'SV068' i 'SM4041'), tretmana (Cd 3, Cd 6, Cd 3+L i Cd 6+L) i tri faze tj. termina uzorkovanja (juni, avgust i septembar), kao i njihovih interakcija na anatomske karaktere adventivnih korijena (Tabela P17.). Poprečni presjek korijenova tri klona vrba gajenih u prisustvu Cd 3 i Cd 6 prikazan je u Prilogu (Slike P7. i P8.).

Koncentracije Cd 3 i Cd 6 su tokom tri faze uzorkovanja (I, II i III uzorak) izazvale različit procenat odstupanja anatomskih parametara adventivnih korijena analiziranih *Salix* spp. klonova u odnosu na kontrolne uzorke (Tabele P18. – P26.; Slike 18. – 20.).

U prvoj fazi uzorkovanja mnogi anatomske karakteri korijena klona 'B-44' značajno su povećani pod uticajem oba tretmana Cd u poređenu sa kontrolom. Statistički značajan porast imali su površina poprečnog presjeka i dijametar korijena, proporcije periderma i sekundarnog korteksa i površina ćelija parenhima sekundarnog korteksa. Gustina traheja bila je značajno manja, ali su ukupna površina lumena traheja u ksilemu, površina lumena i dijametar pojedinačnih traheja signifikantno povećani u prisustvu oba Cd tretmana. Proporcije traheja u I i II grupi bile su značajno snižene, ali u grupi III značajno povećane kada se uzorci tretirani sa Cd 3 i Cd 6 uporede sa kontrolom. Usljed povećanja ovih karakterata, došlo je i do porasta vrijednosti teoretske hidrauličke provodljivosti (k_h) i indeksa osjetljivosti na kavitaciju i emboliju (V_i) (Tabela P18. i Slika 18A.).

Uticaj dvije koncentracije Cd u prvoj fazi uzorkovanja izazvao je suprotne efekte na određene anatomske karaktere korijenova klona 'SV068', u poređenju sa kontrolom. Tretman Cd 6 uzrokovao je signifikantno povećanje površine korijena na poprečnom presjeku, proporcije sekundarnog korteksa, površine parenhimskih ćelija sekundarnog korteksa i ukupnog lumena traheja, dok je koncentracija Cd 3 imala negativan uticaj i dovela do smanjenja ovih parametara. Procenat drveta i gustina traheja su statistički značajno sniženi u prisustvu obe koncentracije Cd. Slično kao kod klona 'B-44', tretman sa dvije različite koncentracije Cd doveo je do statistički značajnog povećanja lumena i dijametara pojedinačnih traheja, u poređenju sa kontrolom. Pored toga, obe koncentracije Cd uzrokovale su značajno veći indeks osjetljivosti od kontrole. Dalje, procenat traheja koje pripadaju I grupi značajno je opao, ali u grupama II i III se značajno povećao nakon oba tretmana Cd, u poređenju sa kontrolom. Teoretska hidraulička provodljivost nije se značajno razlikovala od kontrole, bez obzira na primjenjeni tretman Cd (Tabela P19. i Slika 18B.).

Pod uticajem tretmana Cd 3 i Cd 6 u prvoj fazi uzorkovanja kod klona 'SM4041' došlo je do signifikantnog povećanja površine korijena na poprečnom presjeku, u odnosu na kontrolu (Tabela P20. i Slika 18C.). Procenat sekundarnog korteksa, površina ćelija parenhima sekundarnog korteksa, procenat drveta, ukupna površina lumena traheja, površina i dijametar pojedinačnih traheja su se statistički značajno povećali nakon tretmana Cd 3, kada se uporede sa kontrolom. Nasuprot pozitivnog efekta Cd 3, tretman Cd 6 je imao značajan negativan uticaj na navedene parametre korijena. Za razliku od statistički značajno smanjenja procenta traheja I i III grupe, oba tretmana Cd dovela su do signifikantno većeg procenta traheja u II grupi, u poređenju sa kontrolom. Na početku tretmana (I uzorak), k_h i V_i korijena klona 'SM4041' pod uticajem Cd 3 i Cd 6 pokazali su značajno smanjenje u odnosu na kontrolu.



Slika 18. Promjene anatomskih karakterata adventivnih korijenova tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (I uzorak). 1 - P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$); 2 - D poprečnog presjeka (μm); 3 - % Periderma; 4 - % Sekundarnog korteksa (floema); 5 - P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2); 6 - % Drveta (primarni i sekundarni ksilem); 7 - Odnos drvo/kora; 8 - GT (N/mm^2); 9 - Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$); 10 - Relativni LT (%); 11 - Individualni LT (μm); 12 - Individualni DT (μm); 13 - % I grupa; 14 - % II grupa; 15 - % III grupa; 16 - $k_i \cdot 10^{-6}$; 17 - V_i . t test ukazuje na statistički značajne razlike između tretiranih i kontrolnih uzoraka: (*) $p \leq 0,05$.

U adventivnim korijenovima tri klona vrba, uzorkovanim u drugoj fazi eksperimenta, dvije različite koncentracije Cd (Cd 3 i Cd 6) izazvale su statistički značajna odstupanja malog broja karaktera u poređenju sa kontrolnim uzorkom (Slike 19A - 19C.).

U prisustvu Cd 3 i Cd 6, značajne promjene parametara korijena klona 'B-44' u drugoj fazi uzorkovanja zapažaju se u vidu smanjene gustine traheja i porasta indeksa osjetljivosti V_i . Uticaj dvije primjenjene koncentracije Cd na procentualna učešća traheja u grupama formiranim prema dijametru bilo je različito. Samo je tretman Cd 3 doveo do signifikantnog smanjenja procenta traheja iz I grupe u odnosu na kontrolu. S druge strane, oba tretmana su uzrokovala značajno povećanje procenta traheja u II grupi od kontrolnog uzorka. Zapaženo je da je dejstvo dva tretmana Cd na procenat traheja u III grupi je bilo nasuprotno, za Cd 3 pozitivno, a za Cd 6 negativno (Tabela P21.; Slika 19A.).

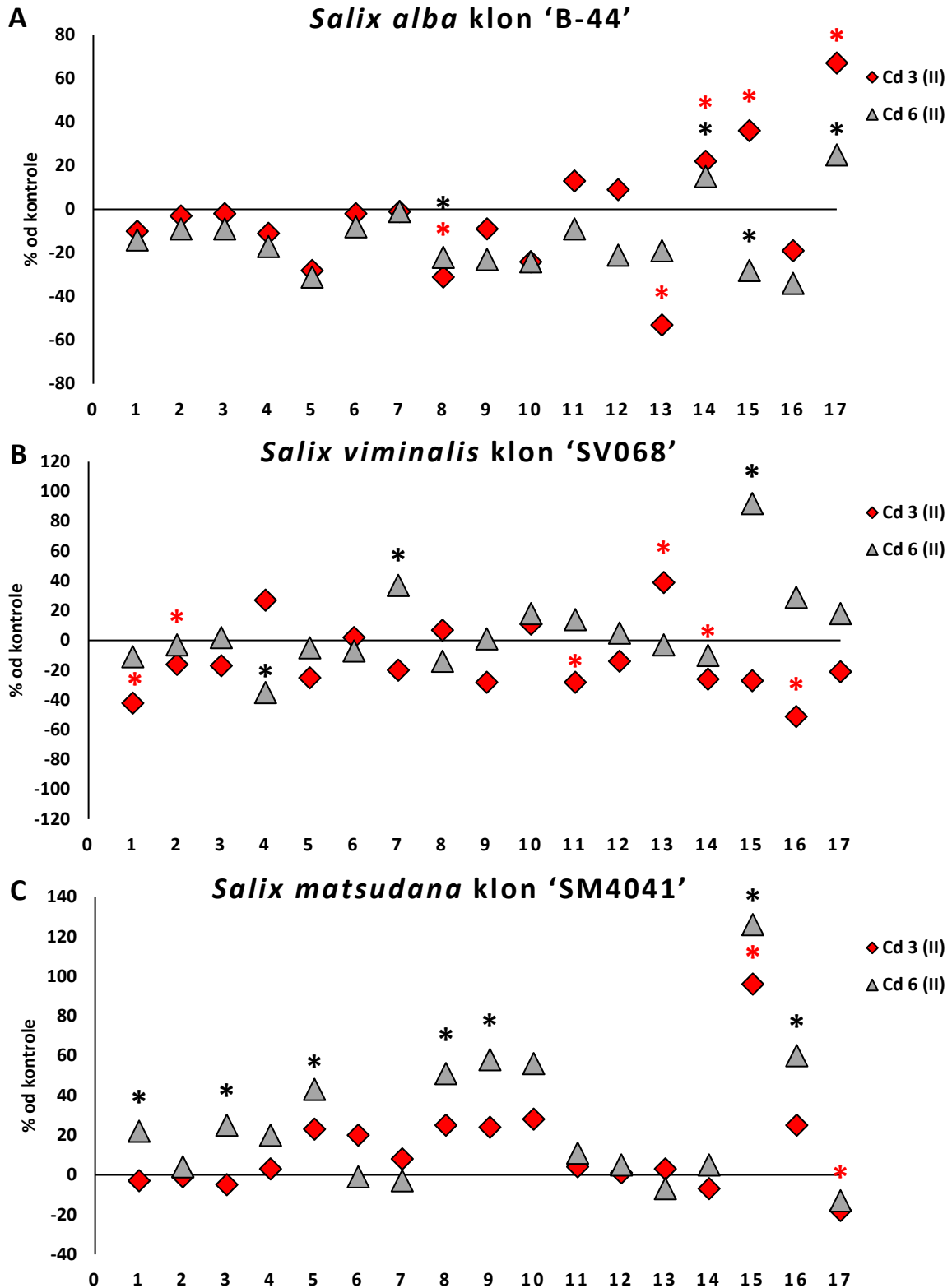
U drugoj fazi uzorkovanja korijeni klona 'SV068' imali su značajno manju površinu i dijametar na poprečnom presjeku pod tretmanom Cd 3, u poređenju sa kontrolnim uzorkom. Tretman Cd 6 uzrokovao je značajno smanjenje procentualnog udjela sekundarnog korteksa kada se uporedi sa kontrolom.

Koncentracija Cd 3 je uzrokovala statistički značajno smanjenje lumena pojedinačnih traheja. Zapaženo je da je pri tretmanu Cd 3 došlo do značajnog povećanja procenta traheja u I grupi, ali i signifikantnog smanjenja procenta traheja iz II grupe i vrijednosti k_h .

Tretman dvostruko većom koncentracijom, Cd 6 uzrokovao je samo signifikantno veći odnos sekundarnog drveta i sekundarne kore u korijenovima klona 'SV068' u odnosu na kontrolu, kao i značajno povećanje proporcije najkrupnijih traheja u III grupi (Tabela P22. i Slika 19B.).

Dvije povišene koncentracije Cd su imale različito dejstvo na anatomske karaktere korijena klona 'SM4041' u drugoj fazi uzorkovanja, u odnosu na kontrolu. U prisustvu Cd 3 zapaža se samo statistički značajan porast procenta najkrupnijih traheja iz III grupe.

Tretman Cd 6 uzrokovao je signifikantan porast proporcije periderma i površine ćelija parenhima sekundarnog korteksa korijena klona 'SM4041' koji je imao i veću površinu na poprečnom presjeku, u poređenju sa kontrolom. Koncentracija Cd 6 takođe je izazvala značajno povećanje gustine i ukupnog lumena traheja, procentualnog učešća traheja sa najvećim dijametrom (III grupa) i teoretske hidrauličke provodljivosti korijena klona 'B-44' u odnosu na kontrolu (Tabela P23. i Slika 19C.).

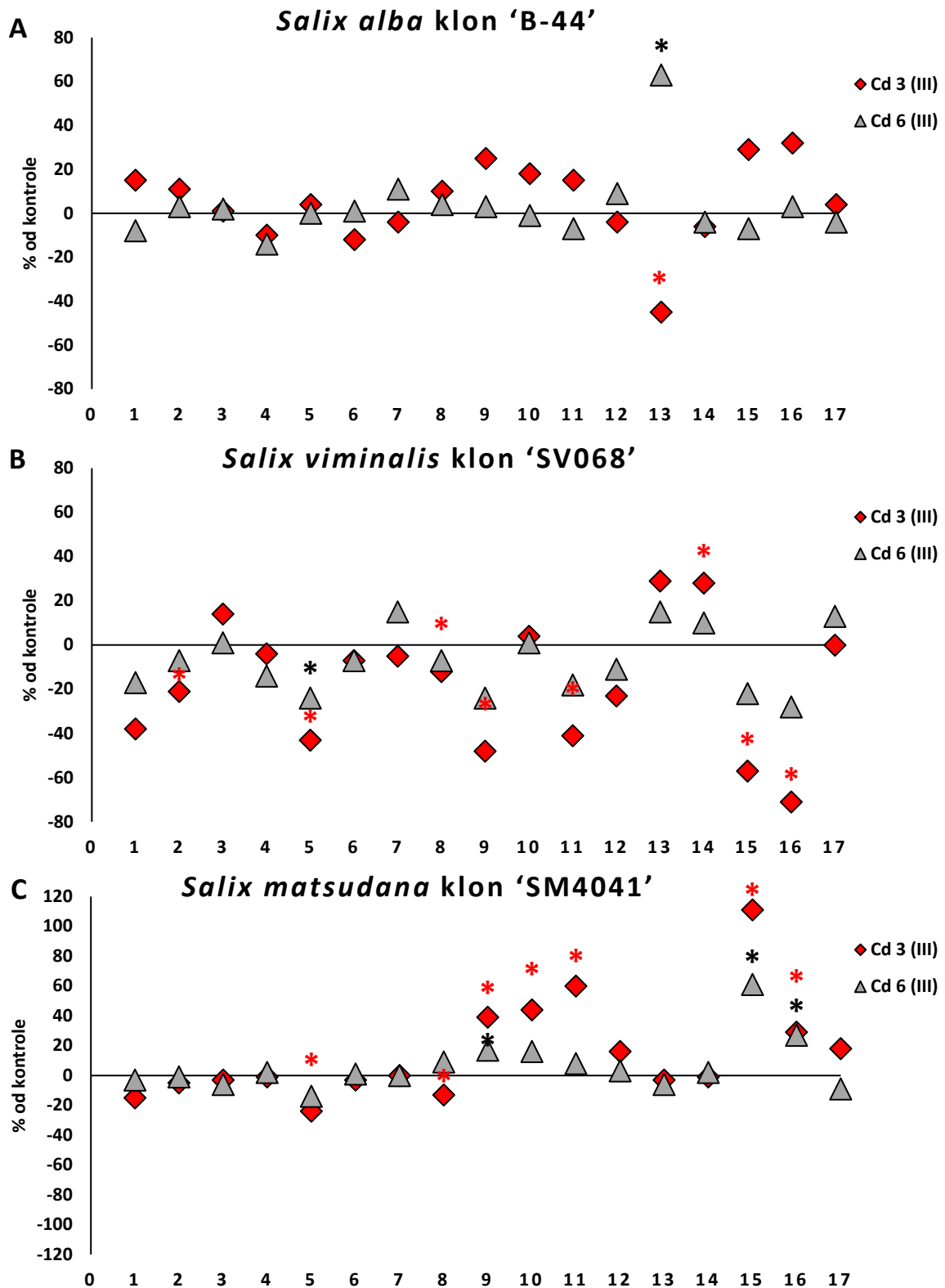


Slika 19. Promjene anatomskih karakterata adventivnih korijenova tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (II uzorak). 1 - P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$); 2 - D poprečnog presjeka (μm); 3 - % Periderma; 4 - % Sekundarnog korteksa (floema); 5 - P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2); 6 - % Drveta (primarni i sekundarni ksilem); 7 - Odnos drvo/kora; 8 - GT (N/mm^2); 9 - Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$); 10 - Relativni LT (%); 11 - Individualni LT (μm); 12 - Individualni DT (μm); 13 - % I grupa; 14 - % II grupa; 15 - % III grupa; 16 - $k_i \cdot 10^{-6}$; 17 - V_i . *t* test ukazuje na statistički značajne razlike između tretiranih i kontrolnih uzoraka: (*) $p \leq 0,05$.

U trećoj fazi uzorkovanja, u korijenu klona 'B-44' tretmani Cd su imali statistički značajan uticaj samo na procenat traheja u I grupi: tretman Cd 3 je uzrokovao značajno smanjenje, dok je tretman Cd 6 doveo do značajnog povećanja navedenog parametra, u odnosu na kontrolu (Tabela P24. i Slika 20A.).

U trećoj fazi uzorkovanja u korijenu klona 'SV068' uticaj tretmana Cd 3 zapaža se kao signifikantno smanjenje dijametra korijena, uslijed značajno manje: površine ćelija parenhima sekundarnog korteksa, gustine traheja i ukupnog lumena traheja. Individualni dijametar traheja takođe je bio signifikantno smanjen pri tretmanu Cd 3, u odnosu na kontrolu. Zapaža se porast procentualne zastupljenosti traheja u II grupi, ali i značajno smanjenje procenta traheja u III grupi i teoretske hidrauličke provodljivosti u prisustvu Cd 3, u poređenju sa kontrolom. Tretman Cd 6 je u korijenu klona 'SV068' uzrokovao malo, ali značajno smanjenje površine ćelija parenhima sekundarnog korteksa, u odnosu na kontrolu (Tabela P25. i Slika 20B.).

Kod klona 'SM4041', u trećoj fazi uzorkovanja korijena dejstvo tretmana Cd 3 ispoljilo se u vidu signifikantnog negativnog uticaja na površinu ćelija parenhima sekundarnog korteksa i gustinu traheja. S druge strane, tretman Cd 3 je uzrokovao značajan porast ukupnog lumena traheja u korijenu klona 'SV068' zbog povećanja individualnog lumena traheja. Ukupni lumen traheja, procentualna zastupljenost traheja u III grupi i teoretska hidraulička provodljivost su se signifikantno povećali u prisustvu obe koncentracije Cd, u odnosu na kontrolu (Tabela P26. i Slika 20C.).



Slika 20. Promjene anatomskih karakterata adventivnih korijenova tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (III uzorak). 1 - P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$); 2 - D poprečnog presjeka (μm); 3 - % Periderma; 4 - % Sekundarnog korteksa (floema); 5 - P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2); 6 - % Drveta (primarni i sekundarni ksilem); 7 - Odnos drvo/kora; 8 - GT (N/mm^2); 9 - Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$); 10 - Relativni LT (%); 11 - Individualni LT (μm); 12 - Individualni DT (μm); 13 - % I grupa; 14 - % II grupa; 15 - % III grupa; 16 - $k_i \cdot 10^{-6}$; 17 - V_i . *t* test ukazuje na statistički značajne razlike između tretiranih i kontrolnih uzoraka: (*) $p \leq 0,05$.

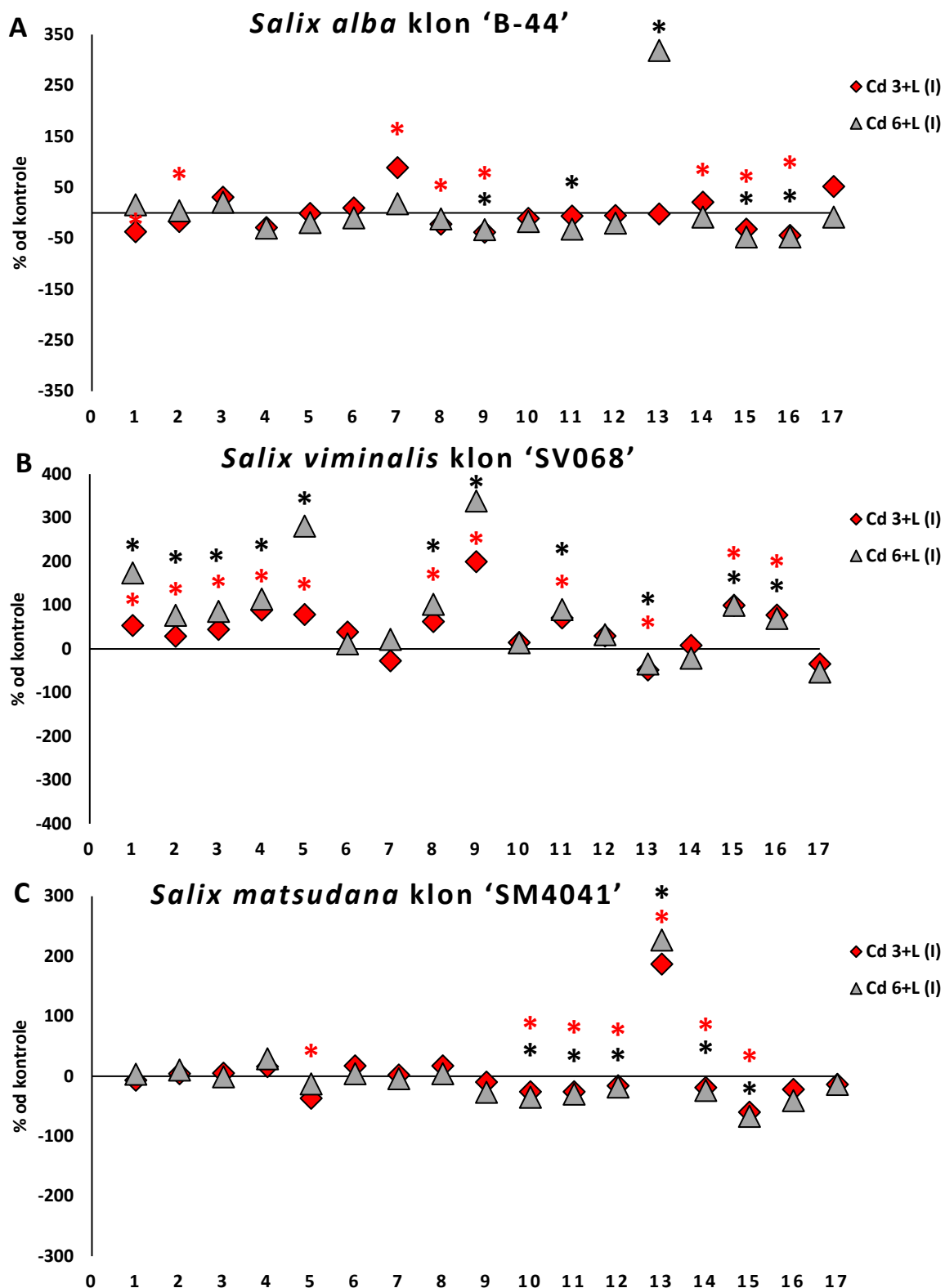
5.1.6. Promjene anatomskih osobina korijena klonova vrba tretiranih kadmijumom u prisustvu limunske kiseline

Promjene u anatomiji korijenova tri klona *Salix* spp. pod uticajem tretmana Cd 3+L i Cd 6+L zapažaju se kao procentualna odstupanja anatomskih karaktera u poređenju sa kontrolom, tokom tri faze uzorkovanja (Tabele P27. - P35.; Slike 21. – 23.). Poprečni presjek reznica klonova vrba gajenih u prisustvu Cd 3+L i Cd 6+L prikazan je u Prilogu (Slike P9. i P10.).

U prvoj fazi uzorkovanja, korijen klona 'B-44' pri tretmanu Cd 3+L imao je manju površinu i dijametar na poprečnom presjeku, kao i značajno manju gustinu traheja, od kontrolnog uzorka. Tretmani Cd 3+L i Cd 6+L uzrokovali su statistički značajno smanjenje: ukupni lumen traheja, procenat traheja u III grupi i teoretsku hidrauličku provodljivost, u odnosu na kontrolu. Pored toga, tretman Cd 6+L je uzrokovao signifikantno povećanje proporcije traheja u I grupi, kada se uporedi sa kontrolom (Tabela P27. i Slika 21A.).

U adventivnom korijenu klona 'SV068' tretmani Cd 3+L i Cd 6+L su u prvoj fazi uzorkovanja uzrokovali najveći broj statistički značajnih odstupanja u odnosu na kontrolu. Oba tretmana Cd u prisustvu limunske kiseline su izazvala signifikantno povećanje površine i dijametra korijena na poprečnom presjeku. Dimenzije korijena su uvećane uslijed značajno povećanih procentualnih učešća periderma i sekundarnog korteksa i površine ćelija parenhima sekundarnog korteksa pri tretmanima Cd 3+L i Cd 6+L, u odnosu na kontrolu. Oba tretmana Cd u prisustvu limunske kiseline su statistički značajno i pozitivno uticala na gustinu i ukupni lumen traheja, površinu lumena traheja i proporciju najkrupnijih traheja (III grupa), u odnosu na kontrolu. Procenat najsitnijih traheja, u I grupi, bio je statistički značajno manji od kontrole nakon tretmana sa obe koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline. Teoretska hidraulička provodljivost je značajno veća pri oba tretmana Cd u prisustvu limunske kiseline, u odnosu na kontrolu (Tabela P28. i Slika 21B.).

Tretmani sa dvije koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline u prvoj fazi uzorkovanja imali su negativno dejstvo na anatomske parametre adventivnih korijena klona klona 'SM4041'. Kao posljedica negativnog uticaja tretmana Cd 3+L došlo je do signifikantnog smanjenja površine ćelija parenhima sekundarnog korteksa. Promjene anatomskih karaktera korijena klona 'SM4041' pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u početnoj fazi eksperimenta zapažaju se u vidu statistički značajno manjeg: relativnog lumena traheja, individualnog lumena i dijametra traheja i procentualnih zastupljenosti traheja u II i III grupi u odnosu na kontrolu. S druge strane, tretmani sa dvije koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline su za posledicu imali statistički značajno povećanje proporcije najsitnijih traheja, u I grupi (Tabela P29. i Slika 21C.).

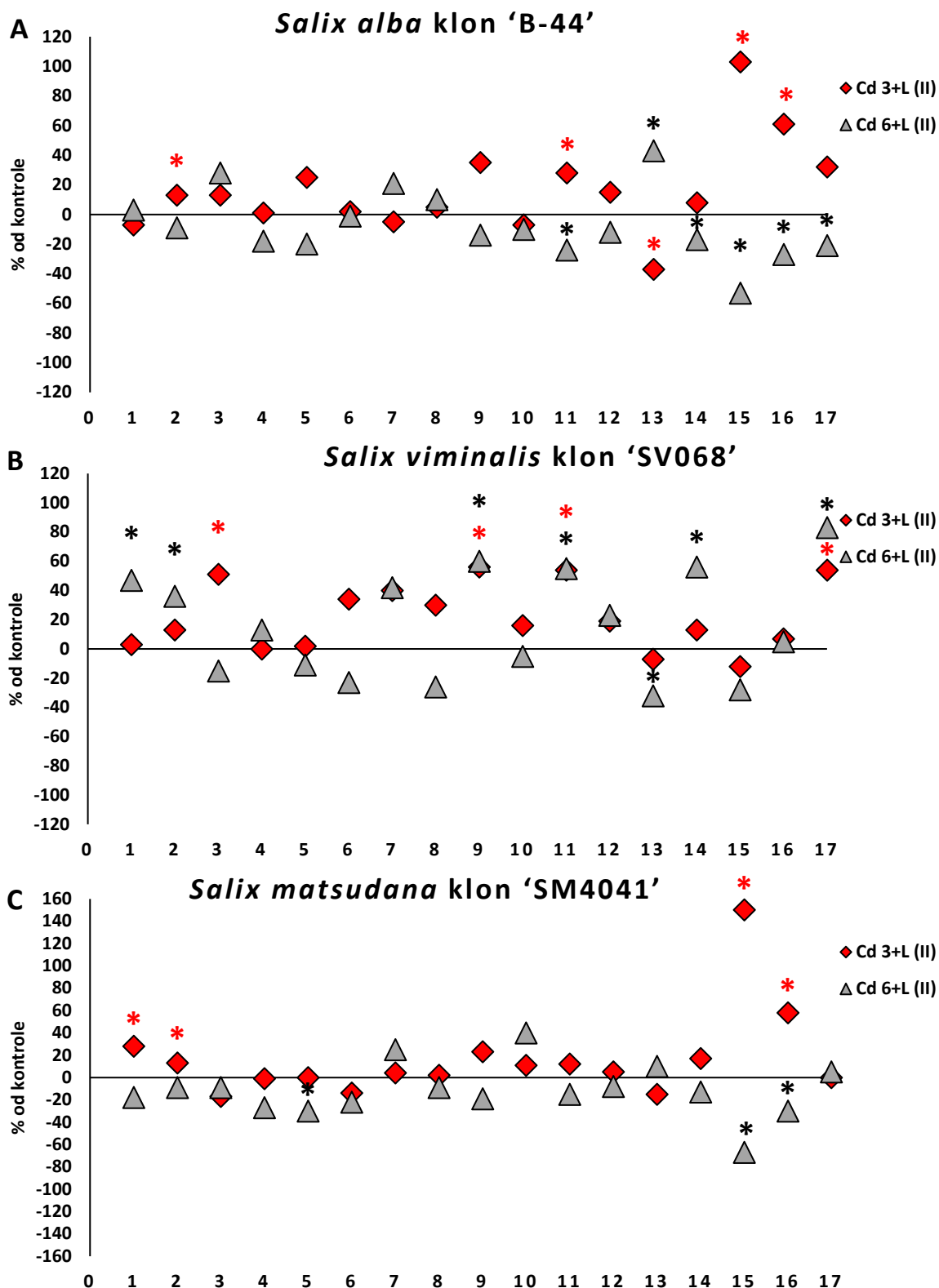


Slika 21. Promjene anatomskih karakterata adventivnih korijenova tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (I uzorak). 1 - P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$); 2 - D poprečnog presjeka (μm); 3 - % Periderma; 4 - % Sekundarnog korteksa (floema); 5 - P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2); 6 - % Drveta (primarni i sekundarni ksilem); 7 - Odnos drvo/kora; 8 - GT (N/mm^2); 9 - Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$); 10 - Relativni LT (%); 11 - Individualni LT (μm); 12 - Individualni DT (μm); 13 - % I grupa; 14 - % II grupa; 15 - % III grupa; 16 - $k_h \cdot 10^{-6}$; 17 - V_i . *t* test ukazuje na statistički značajne razlike između tretiranih i kontrolnih uzoraka: (*) $p \leq 0,05$.

U drugoj fazi uzorkovanja, u korijenu klona 'B-44' tretman Cd 3+L doveo je do malog, ali signifikantnog povećanja dijametra korijena. Zapaža se značajno povećanje površine lumena traheja, proporcije traheja u III grupi, k_h i V_i , u prisustvu Cd 3+L, poređenju sa kontrolom. Pod uticajem tretmana Cd 3+L procentualni udio traheja u I grupi je značajno manji nego kod kontrolnih biljaka. Podaci su pokazali da je tretman Cd 6+L uzrokovao povećanje procenta traheja iz I grupe, ali je iskazao negativno dejstvo na individualni lumen traheja, procentualne zastupljenosti traheja iz II i III grupe, k_h i V_i , u poređenju sa kontrolom (Tabela P30. i Slika 22A.).

Pod uticajem Cd 3+L u drugoj fazi uzorkovanja korijena klona 'SV068' statistički značajno je veći procenat periderma, a pod uticajem Cd 6+L značajno su povećani površina i dijametar korijena na poprečnom presjeku, nego kod kontrole. Oba tretmana Cd u prisustvu limunske kiseline dovela su do signifikantnog povećanja ukupnog i individualnog lumena traheja i indeksa osjetljivosti u odnosu na kontrolu. Pod tretmanom Cd 6+L signifikantno je opao procentualni udio najsitnijih traheja, a značajno povećan procentualni udio traheja iz II grupe (Tabela P31. i Slika 22B.).

Dvije koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline imale su statistički značajno dejstvo samo na nekoliko anatomskih karaktera u drugoj fazi uzorkovanja korijena klona 'SM4041'. Zapaža se signifikantno pozitivno dejstvo tretmana Cd 3+L na proporciju traheja u III grupi i k_h , u poređenju sa kontrolnim uzorkom. Dejstvo tretmana Cd 6+L na ova dva parametra je bilo suprotno, uzrokujući njihovo statistički značajno smanjenje u odnosu na kontrolu. Tretman Cd 6+L imao je negativno dejstvo i na ćelije parenhima sekundarnog korteksa, uzrokujući smanjenje njihove površie, u odnosu na kontrolni uzorak (Tabela P32. i Slika 22C.).

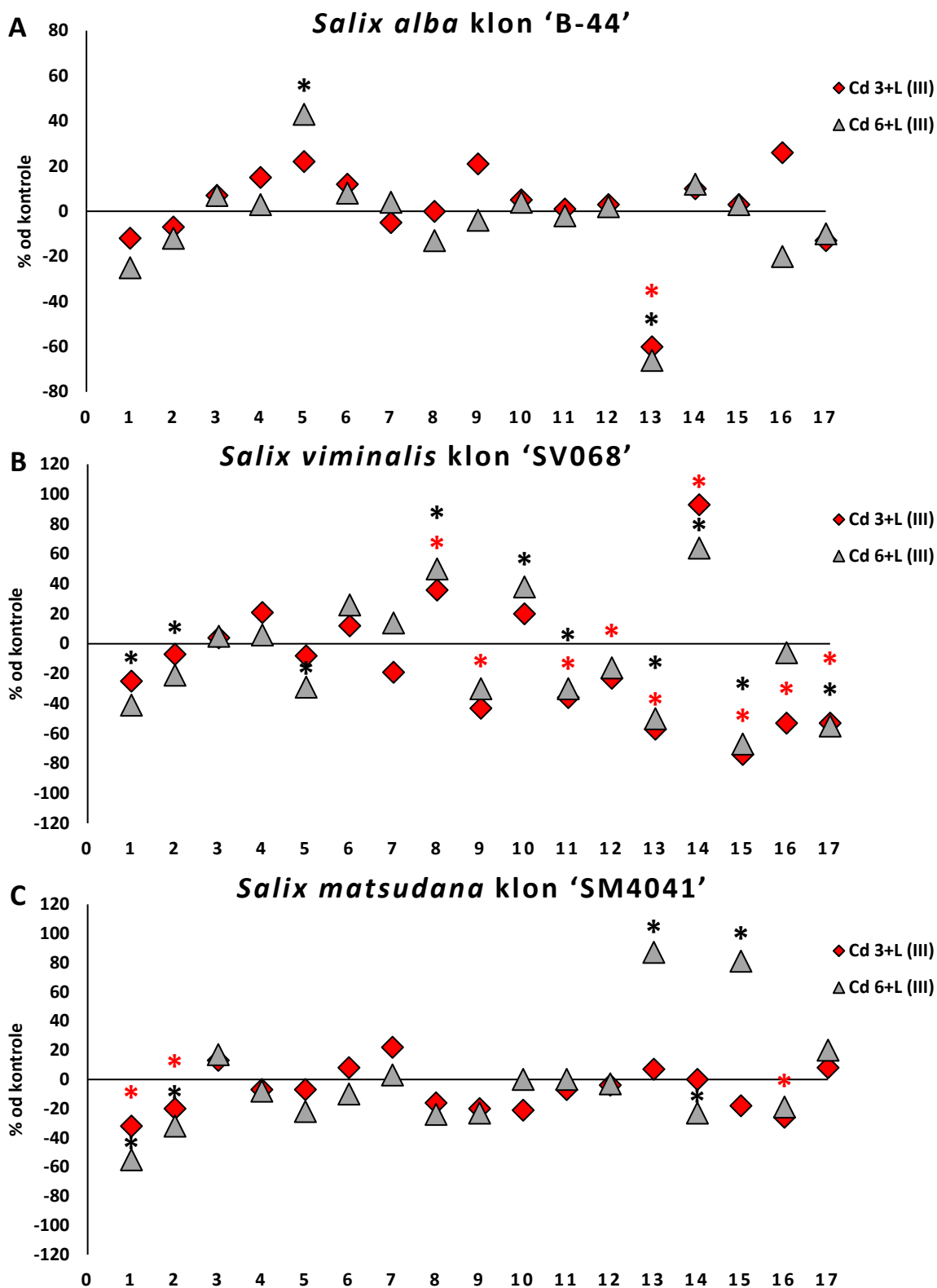


Slika 22. Promjene anatomskih karakterata adventivnih korijenova tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (II uzorak). 1 - P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$); 2 - D poprečnog presjeka (μm); 3 - % Periderma; 4 - % Sekundarnog korteksa (floema); 5 - P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2); 6 - % Drveta (primarni i sekundarni ksilem); 7 - Odnos drvo/kora; 8 - GT (N/mm^2); 9 - Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$); 10 - Relativni LT (%); 11 - Individualni LT (μm); 12 - Individualni DT (μm); 13 - % I grupa; 14 - % II grupa; 15 - % III grupa; 16 - $k_n \cdot 10^{-6}$; 17 - V_i . *t* test ukazuje na statistički značajne razlike između tretiranih i kontrolnih uzoraka: (*) $p \leq 0,05$.

U trećoj fazi uzorkovanja korijena klona 'B-44' tretmani sa dvije koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline nisu uzrokovali statistički značajne promjene gotovo svih anatomskih parametara, u odnosu na kontrolu. Kod ovog klona zabilježena je statistički značajno veća površina ćelija parenhima sekundarnog korteksa u prisustvu koncentracije Cd 6+L. Od parametara traheja, pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L samo je procentualno učešće najsitnijih traheja, iz I grupe, signifikantno smanjeno u poređenju sa kontrolom. (Tabela P33. i Slika 23A.).

Tretman Cd 6+L, u trećoj fazi uzorkovanja, doveo je do signifikantnog smanjenja površine i dijametra korijena klona 'SV068' na poprečnom presjeku, u poređenju sa kontrolom. Smanjenje dimenzija korijena može da se dovede u vezu sa značajno manjom površinom ćelija parenhima sekundarnog korteksa, pod tretmanom Cd 6+L, kada se uporedi sa kontrolnim uzorkom. Pod uticajem oba tretmana Cd u prisustvu limunske kiseline značajno su povećani gustina traheja i procenat traheja u II grupi, u odnosu na kontrolu. S druge strane, pod uticajem datih tretmana značajno su smanjeni su individualni lumen traheja, procenti traheja u I i III grupi i V_i , u odnosu na kontrolu. Zapaža se da je tretman Cd 3+L uzrokovao statistički značajno smanjenje ukupnog lumena traheja, individualnog dijametra traheja i k_h , u poređenju sa kontrolom (Tabela P34. i Slika 23B.).

Značajno dejstvo Cd 3+L i Cd 6+L u trećoj fazi uzorkovanja korijena klona 'SM4041' ogleda se u smanjenju površine i dijametra korijena na poprečnom presjeku, u poređenju sa kontrolom. Na ostale parametre korijena tretman Cd 3+L nije značajno uticao. U prisustvu Cd 6+L zabilježeno je malo, ali statistički značajno smanjenje površine ćelija parenhima sekundarnog korteksa, u odnosu na kontrolu. Dalje, u prisustvu Cd 6+L došlo je do statistički značajnog smanjenja gustine i ukupnog lumena traheja, kao i procentualnog učešća traheja iz II grupe. Pod tretmanom Cd 6+L proporcije I i III grupe traheja, tj. najsitnijih i najkrupnijih traheja, signifikantno su veće, kada se uporedi sa kontrolnim uzorkom (Tabela P35. i Slika 23C.).



Slika 23. Promjene anatomskih karakterata adventivnih korijenova tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (III uzorak). 1 - P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$); 2 - D poprečnog presjeka (μm); 3 - % Periderma; 4 - % Sekundarnog korteksa (floema); 5 - P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2); 6 - % Drveta (primarni i sekundarni ksilem); 7 - Odnos drvo/kora; 8 - GT (N/mm^2); 9 - Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$); 10 - Relativni LT (%); 11 - Individualni LT (μm); 12 - Individualni DT (μm); 13 - % I grupa; 14 - % II grupa; 15 - % III grupa; 16 - $k_h \cdot 10^{-6}$; 17 - V_i . *t* test ukazuje na statistički značajne razlike između tretiranih i kontrolnih uzoraka: (*) $p \leq 0,05$.

Razlike uticaja primjenjenih tretmana Cd bez limunske kiseline i Cd u prisustvu limunske kiseline na analizirane parametre adventivnih korijenova izuzetno su značajne za skoro sve uzorke i sve klonove (Tabela 20.).

Tabela 20. Značajnost promjena anatomskih karakteristika adventivnih korijenova klonova *Salix* spp. tretiranih Cd (Cd 3 i Cd 6) i Cd u prisustvu limunske kiseline (Cd 3+L i Cd 6+L) tokom tri uzorkovanja (I, II i III).

Anatomski parametri korijena	klon <i>Salix</i> spp.																	
	‘B-44’						‘SV068’						‘SM4041’					
	I		II		III		I		II		III		I		II		III	
	A ⁺	B ⁺⁺	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
D poprečnog presjeka (μm)	**	**	**	ns	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm ²)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
GT (N/mm ²)	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**
Ukupni LT (μm ² · 10 ⁴)	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	ns	**	**
Relativni LT (%)	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns
Individualni LT (μm)	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**
Individualni DT (μm)	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**
% I grupa	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
% II grupa	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
% III grupa	**	**	**	**	**	ns	**	ns	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**
k _h · 10 ⁻⁶	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

D - dijаметar, P - površina, GT – gustuna traheja, LT - lumen traheja, DT – dijаметar traheja, I, II, III grupa – grupe traheja prema dijametru, k_h – teoretska hidraulička provodljivost ksilema; A⁺- poređenje Cd 3:Cd 3+L; B⁺⁺- poređenje Cd 6:Cd 6+L; t test značajnosti, ns - nije značajno, * - p ≤ 0.05 i ** - p ≤ 0.01.

5.1.7. Anatomske karakteristike izbojaka klonova vrba

Na poprečnom presjeku izbojaka ispitivanih klonova vrba uočavaju se jednoslojni epidermis, subepidermalno raspoređeni kao dio primarne kore uočavaju se kolenhim, parenhim i sklerenhim, kora (floem), kambijum, sekundarno drvo, primarno drvo i srž. U primarnoj kori prisutni su intercelulari i brojne kristalne druze u parenhimskim ćelijama. Vidljivi su tangencijalni nizovi sklerenhimskih ćelija. Ksilem je difuzno poroznog tipa, čine ga većinom solitarne traheje i manji broj grupa traheja koje su građene od po 2 do 4 traheje u radijalnim nizovima. Srž je okruglog oblika na poprečnom presjeku (Slike 24. do 26.). Poprečni presjeci izbojaka klonova vrba gajenih u prisustvu limunske kiseline prikazani su u prilogu (Slike P11. – P.13).

Analizirani klonovi vrba međusobno se statistički značajno razlikuju po procentualnom učešću parenhima, kolenhima i sklerenhima primarne kore i odnosom ksilema i floema sa najvišim vrijednostima kod klona 'SM4041' (Tabela 21.).

Tabela 21. Procentualno učešće pojedinih tkiva u građi izbojaka tri klona vrba (kontrolne biljke), u odnosu na površinu poprečnog presjeka izbojaka (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Klon	% Epidermisa	% Parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore	% Floema	% Ksilema (primarnog + sekundarnog)	Odnos ksilem/ floem	% Srži
'B-44'	1,53 \pm 0,10 (25,5) ab*	7,04 \pm 0,35 (19,1) c	10,1 \pm 0,24 (9,30) a	35,6 \pm 6,47 (0,60) a	3,55 \pm 0,13 (14,3) b	45,7 \pm 0,47 (4,00) b
'SV068'	1,86 \pm 0,18 (36,7) a	8,22 \pm 0,47 (22,2) b	9,75 \pm 0,49 (19,5) a	27,7 \pm 1,11 (15,5) b	2,94 \pm 0,18 (23,1) c	52,4 \pm 1,32 (9,79) a
'SM4041'	1,44 \pm 0,07 (19,1) b	9,73 \pm 0,40 (15,7) a	8,57 \pm 0,31 (14,0) b	35,1 \pm 1,09 (12,0) a	4,17 \pm 0,20 (18,9) a	45,2 \pm 0,98 (8,40) b

*Različita slova ukazuju na značajne razlike u procentualnom učešću tkiva između različitih klonova (jednofaktorijalna ANOVA; $p \leq 0,05$).

Klon 'B-44' se prema procentualnom učešću epidermisa nalazio između klonova 'SV068' i 'SM4041'. Statistički značajne razlike uočene su i za preostale parametre izbojaka, uglavnom u relaciji da dva klona zajedno imaju bolje razvijena pojedina tkiva u odnosu na jedan od klonova. Klonovi 'B-44' i 'SV068' su imali bolje razvijen floem u odnosu na klon 'SM4041'. Klonovi 'B-44' i 'SM4041' se karakteriše bolje razvijenim ksilemom nasuprot klonu 'SV068', koji u odnosu na njih ima najbolje razvijenu srž.

Klon 'SM4041' posjeduje najveći ukupan broj traheja po mm² ksilema, ali su traheje ovog klona i najsitnije. Ovaj klon takođe se karakterisao značajno najmanjim vrijednostima teoretske hidrauličke provodljivosti i indeksa osjetljivosti. Klonovi 'B-44' i 'SV068' su imali značajno veću prosječnu površinu traheja, k_h i V_i u poređenju sa klonom 'SM4041', ali se po navedenim parametrima ova dva klona nisu međusobno razlikovali. (Tabela 22.).

Analiza karakteristika pojedinačnih traheja izbojaka pokazala je da se klon 'B-44' izdvojio najmanjim brojem i procentom pojedinačnih traheja u ksilemu. Klon 'SM4041' se karakterisao najsitnijim solitarnim trahejama. Prema broju pojedinih traheja u ksilemu klon 'SV068' nalazi između prethodna dva klona (Tabela 22.).

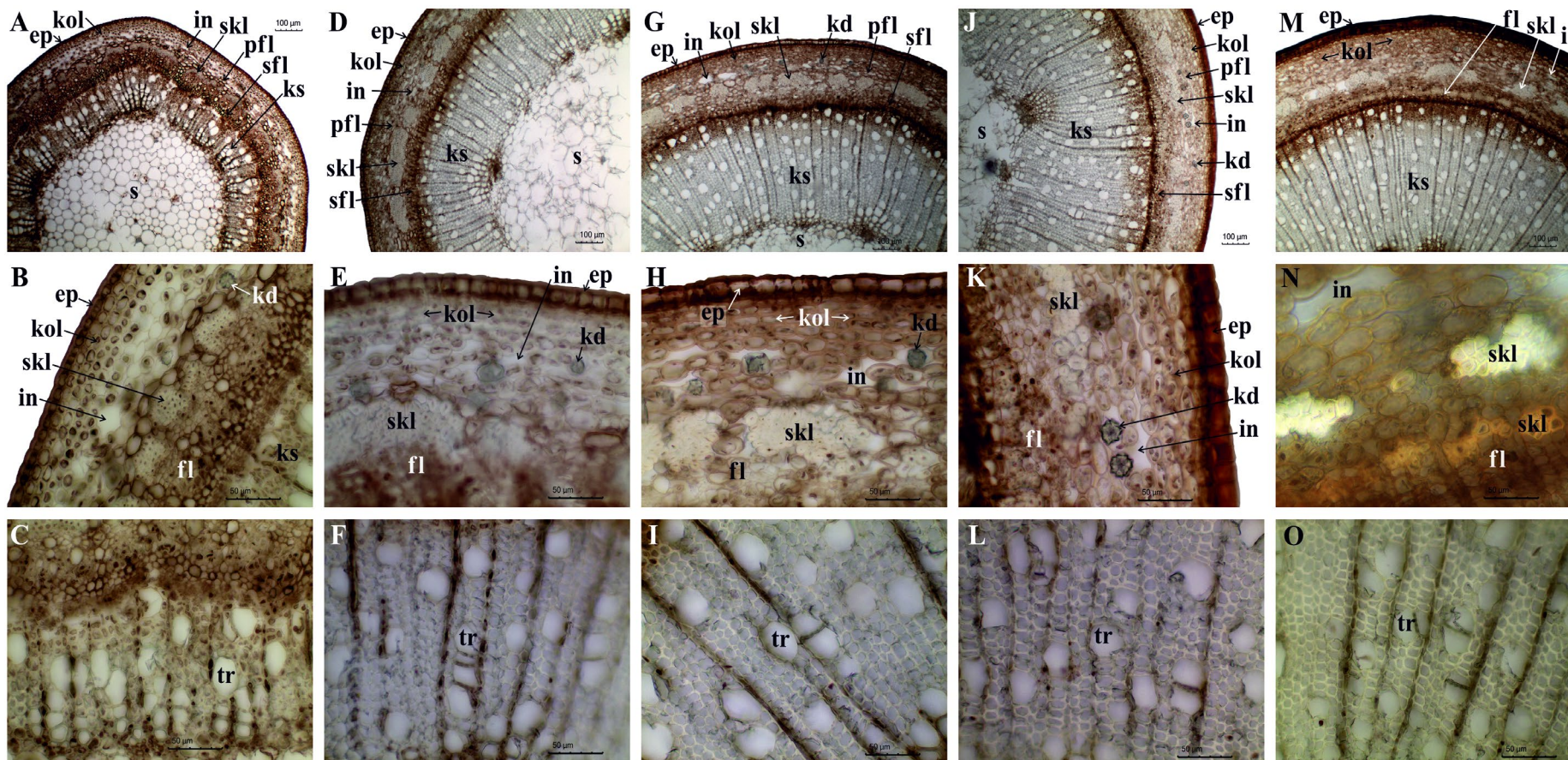
Analiza karakteristika grupisanih traheja izbojaka tri klona *Salix* spp. (Tabela 22.) ukazuje da se klon 'SM4041' odlikovao statistički značajno najbrojnijim, ali najsitnijim grupisanim trahejama. Klonovi 'B-44' i 'SV068' se nisu međusobno razlikovali prema broju i

lumenu grupisanih traheja. Broj grupa traheja po mm² ksilema je bio statistički značajno različit i najveći kod klona 'SM4041'. S druge strane, kod klona 'B-44' zabilježen je signifikantno najmanji broj traheja u jednoj grupi, a u vezi sa tim i najmanji indeks grupisanja.

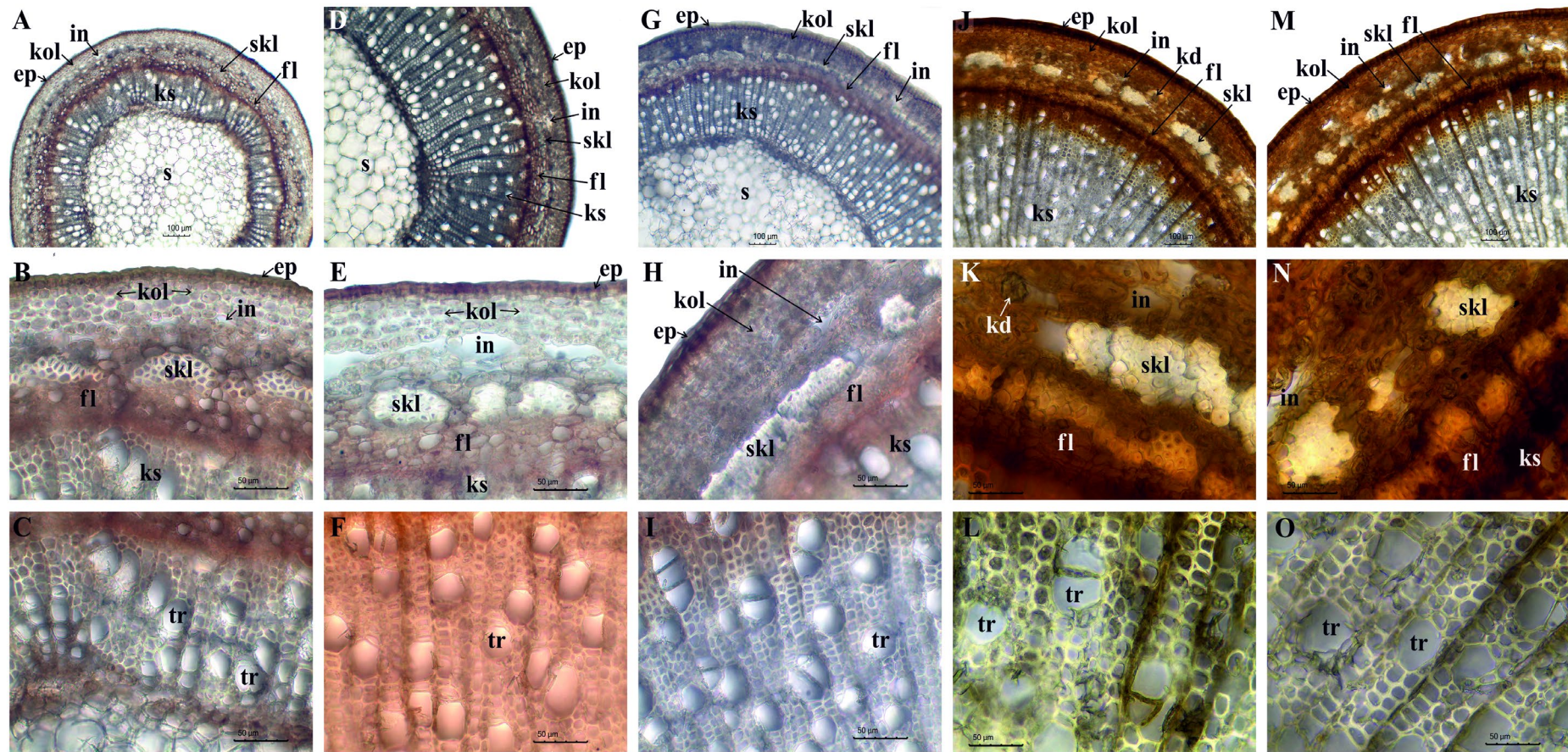
Tabela 22. Karakteristike traheja izbojaka klonova *Salix* spp. (kontrolni uzorak): srednja vrijednost ± standardna greška (koeficijent varijacije, %).

Karakteristike traheja	klon <i>Salix</i> spp.		
	'B-44'	'SV068'	'SM4041'
% Traheja u ksilemu	6,70 ± 0,42 (24,1) a*	6,11 ± 1,68 (48,3) a	6,90 ± 0,61 (34,1) a
Broj traheja po mm ² ksilema	122 ± 3,01 (9,56) b	130 ± 3,75 (11,1) b	168 ± 5,23 (12,1) a
Prosječna površina traheja (μm ²)	831 ± 12,0 (25,7) a	848 ± 13,3 (29,0) a	637 ± 19,9 (32,7) b
k _h · 10 ⁻⁶	0,28 ± 0,01 (17,8) a	0,28 ± 0,02 (25,5) a	0,21 ± 0,01 (27,2) b
V _i	0,13 ± 0,01 (12,0) a	0,13 ± 0,01 (13,7) a	0,09 ± 0,01 (17,8) b
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	87,5 ± 2,16 (9,55) b*	90,1 ± 3,68 (15,8) ab	99,3 ± 4,40 (17,2) a
Površina pojedinačnih traheja (μm ²)	916 ± 12,0 (28,5) a	905 ± 20,1 (47,1) a	704 ± 18,5 (33,6) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	3,70 ± 0,24 (25,0) b	3,72 ± 0,94 (40,5) a	3,81 ± 0,35 (36,6) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	34,5 ± 2,51 (28,2) b*	40,3 ± 2,01 (19,4) b	68,5 ± 1,9 (10,9) a
Površina jedne grupisane traheje (μm ²)	746 ± 15,4 (29,7) a	792 ± 14,8 (30,2) a	571 ± 22,6 (33,3) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	3,00 ± 0,19 (24,8) a	3,23 ± 0,77 (48,1) a	3,19 ± 0,26 (31,9) a
Broj grupa po mm ² ksilema	18,0 ± 1,11 (23,9) b	16,4 ± 1,02 (24,0) b	28,9 ± 0,66 (8,87) a
Broj traheja u jednoj grupi	1,98 ± 0,18 (34,8) b	2,49 ± 0,08 (13,0) a	2,38 ± 0,06 (9,92) a
V _g	1,16 ± 0,02 (7,06) c	1,23 ± 0,01 (4,44) b	1,31 ± 0,01 (3,60) a

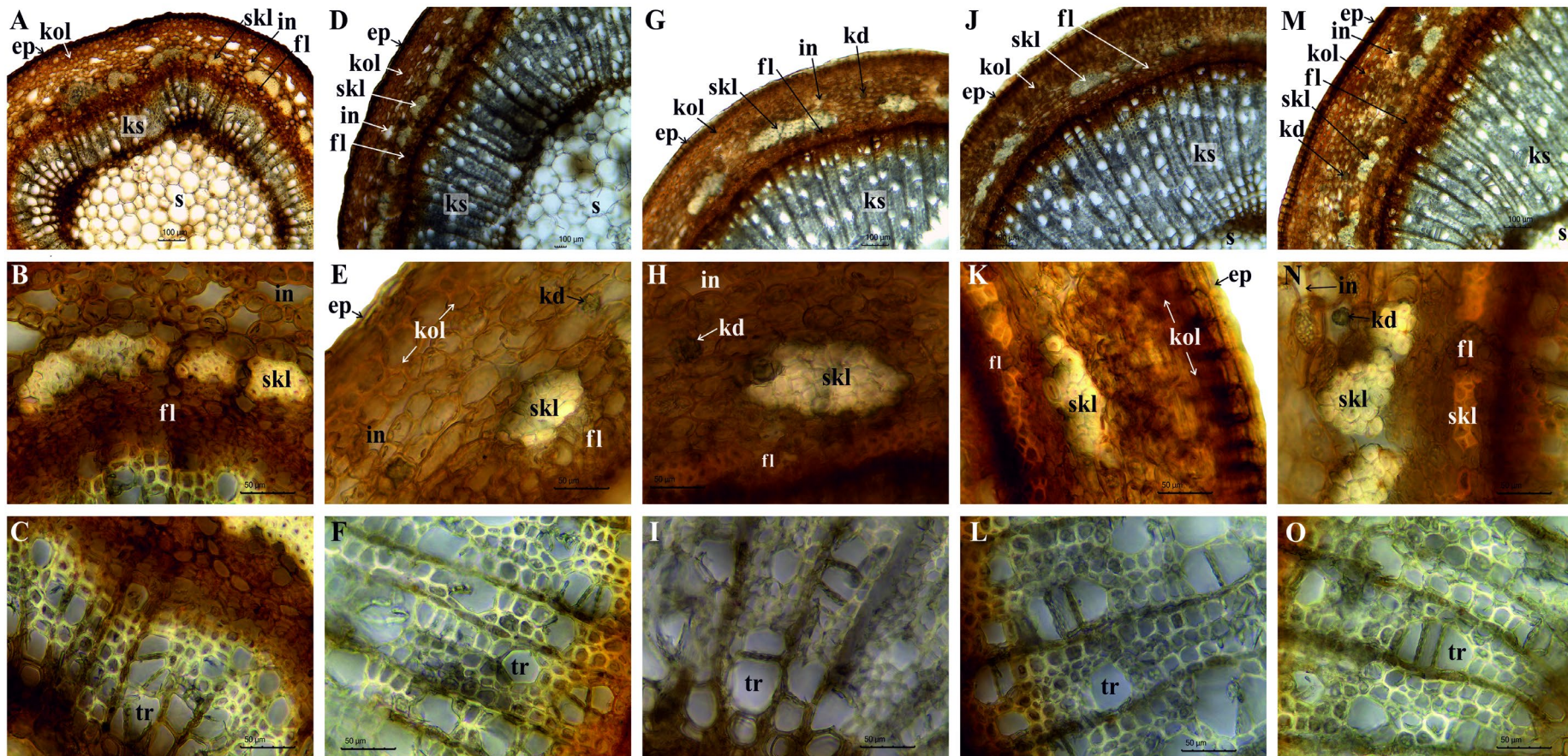
* Različito malo slovo ukazuje na statistički značajne razlike između analiziranih klonova, prema Dankanovom testu (p ≤ 0,05). k_h – teoretska hidraulička provodljivost, V_i – indeks osjetljivosti, V_g - indeks grupisanja



Slika 24. Anatomska građa izbojka *Salix alba* klon 'B-44' (kontrolni uzorak). A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druzna, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



Slika 25. Anatomska građa izbojka *Salix viminalis* klon ‘SV068’ (kontrolni uzorak). A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druza, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



Slika 26. Anatomska građa izbojka *Salix matsudana* klon 'SM4041' (kontrolni uzorak). A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druzna, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.

5.1.7.1. Analiza osnovnih komponenti anatomskih parametara izbojaka klonova vrba

Analiza osnovnih komponenti koja je obuhvatila anatomske karaktere izbojaka klonova vrba pokazala je da četiri komponente objašnjavaju 80,28 % variranja karaktera.

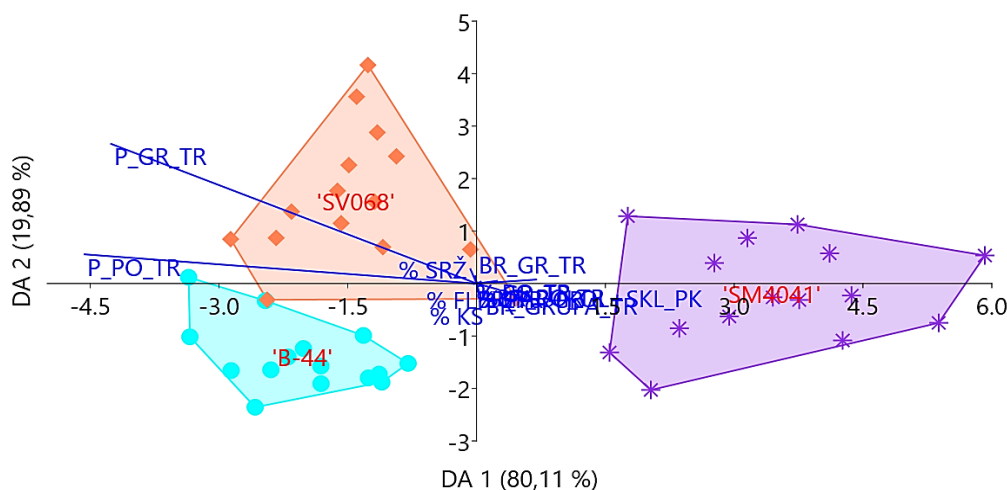
Karakteristi koji u najvećoj mjeri doprinose variranju na prvoj osi su: ukupan broj i prosječna površina svih traheja u ksilemu, V_i , površina pojedinačnih i grupisanih traheja i broj grupisanih traheja. Od karaktera na drugoj osi se izdvajaju procentualni udjeli svih, pojedinačnih i grupisanih traheja u ksilemu i indeks grupisanja. Razdvajaju genotipova na četvrtoj osi doprinosi jedan karakter, broj pojedinačnih traheja (Tabela 23. i Slika 27.).

Tabela 23. Prikaz kvantitativnih karaktera od značaja za varijabilnost klonova, za nivo značajnosti 0,7 (*)

Anatomski karakteri izbojaka	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
% Epidermisa	0,4038	0,3888	-0,2013	0,0383
% Parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore	-0,5965	0,2692	-0,1311	-0,1538
% Floema	0,5485	-0,3225	-0,0808	-0,0514
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	-0,5310	-0,6146	0,4125	0,2039
% Srži	0,5620	0,5873	-0,3280	-0,1387
% Traheja u ksilemu	0,6079	0,7353	0,0241	0,1266
Broj traheja po mm ² ksilema	-0,8303*	0,3195	0,2397	-0,3155
Prosječna površina traheja	0,8756	-0,1275	0,4193	-0,1362
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,6607	-0,1057	0,5741	-0,3732
V_i	0,9381	-0,2730	-0,0026	0,1351
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	-0,5949	-0,0215	-0,0645	-0,7328
Površina pojedinačnih traheja (μm^2)	0,8067	-0,1226	0,4556	-0,1428
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	0,5969	0,7337	0,0453	0,1152
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	-0,7358	0,4932	0,4107	0,1456
Površina jedne grupisane traheje (μm^2)	0,7817	-0,1076	0,2958	-0,1016
% Grupisanih traheja u ksilemu	0,6009	0,7141	-0,0012	0,1352
Broj grupa po mm ² ksilema	-0,6948	0,1889	0,4052	0,4160
Broj traheja u jednoj grupi	-0,1669	0,6097	0,0895	-0,4373
V_g	-0,4517	0,7104	0,3846	0,1343
Sopstvena vrijednost	8,1488	4,0255	1,6955	1,3830
Varijansa	0,4289	0,2119	0,0892	0,0728

*Istaknute su vrijednosti za nivo značajnosti $> 0,7000$. k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; V_g – indeks grupisanja.

grupisanih traheja i broj grupa traheja. Po ovim karakterima se izdvaja klon 'SM4041' u pozitivnom dijelu prve osnovne komponente. Druga osnovna komponenta učestvuje u razdvajanju analiziranih klonova vrba sa 19,89 %, a karakteri koji su bitni za razdvajanje su procentualni udjeli tkiva izbojaka: epidermisa, primarne kore, sekundarne kore, ksilema i srži. Po ovim karakterima genotip 'SV068' se izdvaja u pozitivnom, a 'B-44' u negativnom dijelu druge diskriminantne ose (Slika 28.).



Slika 28. Diskriminantna analiza (DA): Grafički prikaz grupisanja tri klona *Salix* spp. na osnovu kvantitativnih karakterata izbojaka. % EP - Procentualni udio epidermisa; % PAR + KOL + SKL_PK - Procentualni udio parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore; % FL - Procentualni udio floema; % KS - Procentualni udio ksilema (primarnog i sekundarnog); % SRŽ - Procentualni udio srži; BR_PO_TR - Broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; P_PO_TR - Površina pojedinačnih traheja (μm²); % PO_TR - Procentualni udio pojedinačnih traheja u ksilemu; BR_GR_TR - Broj grupisanih traheja po mm² ksilema; P_GR_TR - Površina jedne grupisane traheje (μm²); % GR_TR - Procentualni udio grupisanih traheja u ksilemu; BR_GRUPA_TR - Broj grupa po mm² ksilema; BR_TR/GR - Broj traheja u jednoj grupi.

5.1.7.3. Korelaciona analiza anatomskih karakterata izbojaka

Rezultati korelacione analize anatomskih karakterata izbojaka klonova vrba (Slika 29.) koji se mogu dovesti u vezu sa produkcijom biomase, pokazuju da se površina izbojaka na poprečnom presjeku nalazi u visokoj negativnoj korelaciji sa procentualnim učešćem traheja u ksilemu ($r = -0,70$) i procentualnim učešćem pojedinačnih traheja ($r = -0,70$). Površina izbojaka se nalazi u značajnoj negativnoj korelaciji sa brojem ($r = -0,45$) i procentom ($r = -0,67$) grupisanih traheja i indeksom grupisanja ($r = -0,59$).

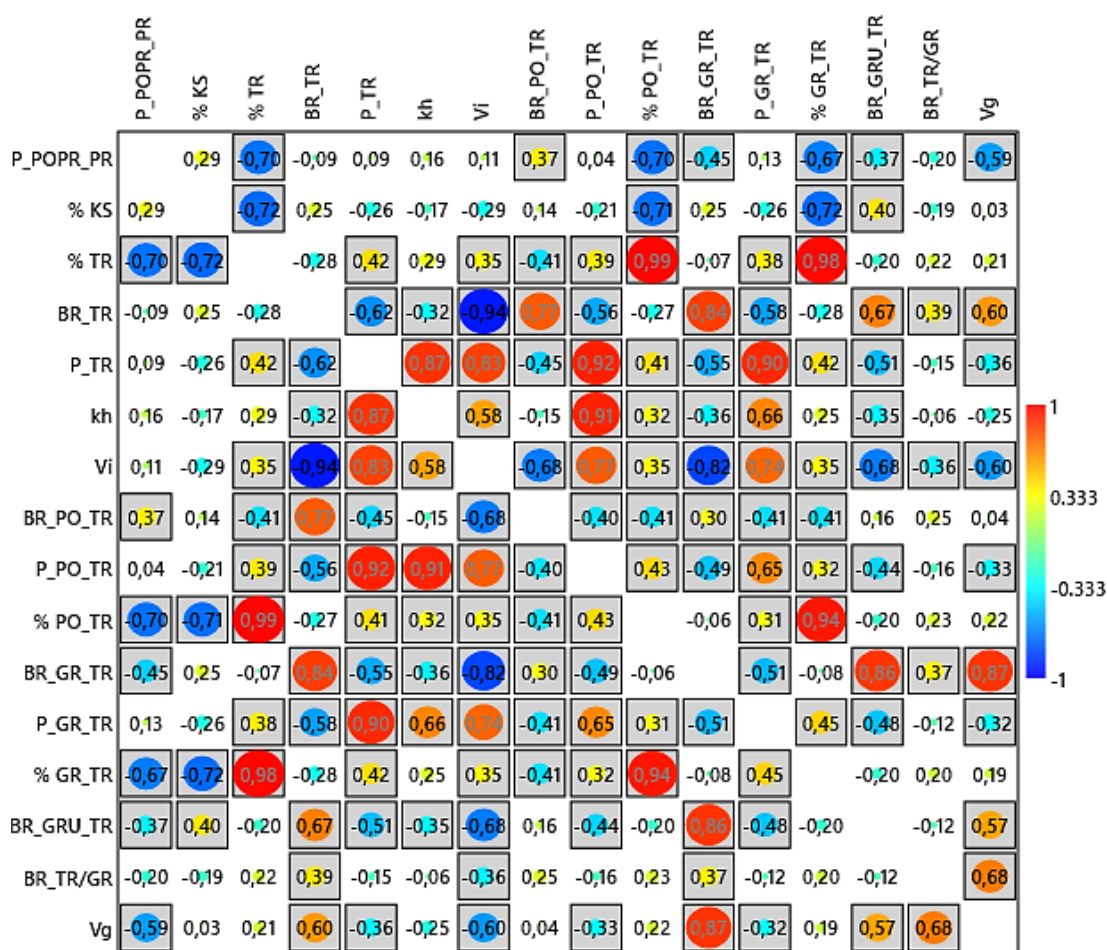
Pokazano je postojanje visoke, negativne korelacione veze procentualnog učešća ksilema sa procentualnim učešćem traheja u ksilemu ($r = -0,72$), procentualnim učešćem pojedinačnih traheja ($r = -0,71$) i procentualnim učešćem grupisanih traheja ($r = -0,72$).

Broj traheja po mm² ksilema izbojaka nalazi se u značajnoj pozitivnoj korelaciji sa brojem grupa traheja po mm² ksilema ($r = 0,67$) i slaboj pozitivnoj korelaciji sa brojem traheja u jednoj grupi ($r = 0,39$). Zapažaju se značajne negativne korelacione veze broja traheja po mm² ksilema sa: prosječnom površinom traheja ($r = -0,62$), površinom pojedinačnih traheja ($r = -0,56$) i površinom grupisanih traheja ($r = -0,58$).

Ustanovljena je značajna negativna korelacija prosječne površine traheja sa: brojem traheja po mm² ksilema ($r = -0,62$), brojem pojedinačnih traheja ($r = -0,45$), brojem grupisanih traheja ($r = -0,55$) i brojem grupa traheja po mm² ksilema ($r = -0,51$). Značajna negativna korelacija postoji između procentualnog učešća traheja i broja pojedinačnih traheja u ksilemu

($r = -0,41$). Između broja i površine pojedinačnih traheja postoji značajna negativna korelacija ($r = -0,40$). Takođe, značajne negativne korelacije ostvarene su između broja i procenta pojedinačnih traheja ($r = -0,41$), kao i broja pojedinačnih traheja sa površinom ($r = -0,41$) i procentualnim učešćem grupisanih traheja ($r = -0,41$).

Površina pojedinačnih traheja nalazi se u značajnoj, pozitivnoj korelaciji sa procentualnim učešćem pojedinačnih traheja ($r = 0,43$). Postoje značajne negativne korelacione veze površine pojedinačnih traheja sa brojem grupisanih traheja ($r = -0,49$) i brojem grupa traheja ($r = -0,44$). Korelacija površine pojedinačnih traheja sa površinom grupisanih traheja je značajna, pozitivna ($r = 0,65$), korelacija procentalnog učešća pojedinačnih i grupisanih traheja je visoka i pozitivnog karaktera ($r = 0,94$). Zapaženo je da dolazi do smanjenja površine grupisanih traheja sa povećanjem njihovog broja ($r = -0,51$). Postoji visoka pozitivna korelaciona veza broja grupisanih traheja sa brojem grupa traheja po mm^2 ksilema ($r = 0,86$). Ustanovljena je značajna negativna korelacija površine grupisanih traheja sa brojem grupa traheja po mm^2 ksilema ($r = -0,48$).



Slika 29. Grafički prikaz linearne korelacije između anatomskih karakterata izbojaka klonova *Salix* spp. (kontrolne biljke) koje se mogu dovesti u vezu sa produkcijom biomase izbojaka. Vrijednosti iz matrice korelacije sa značajnošću $p \leq 0,05$ su prikazane uokvirenim kružićima - što je veći i tamniji kružić to je značajnija korelacija. P_POPR_PR – površina poprečnog presjeka reznice; % KS – Procentualno učešće ksilema (primarnog i sekundarnog); % TR – Procentualno učešće traheja u ksilemu; BR_TR – Broj traheja po mm^2 ksilema; P_TR – Prosječna površina traheja; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; BR_PO_TR – Broj pojedinačnih traheja; P_PO_TR – Površina pojedinačnih traheja; % PO_TR – Procentualno učešće pojedinačnih traheja; BR_GR_TR – Broj grupisanih traheja; P_GR_TR – Površina grupisanih traheja; % GR_TR – Procentualno učešće grupisanih traheja; BR_GRU_TR – Broj grupa traheja po mm^2 ksilema; BR_TR_GR – Broj traheja u jednoj grupi; V_g – indeks grupisanja traheja.

Teoretska hidraulička provodljivost, k_h , ostvaruje visoke pozitivne korelacije sa prosječnom površinom traheja u ksilemu ($r = 0,87$) i površinom pojedinačnih traheja ($r = 0,91$). Značajna je pozitivna korelacija k_h sa površinom grupnih traheja ($r = 0,66$). Zapažene su negativne korelacije k_h sa: brojem traheja po mm^2 ksilema ($r = -0,32$), brojem grupisanih traheja ($r = -0,36$) i brojem grupa traheja ($r = -0,35$). Veza k_h i indeksa osjetljivosti na kavitaciju i emboliju je pozitivna i značajna ($r = 0,58$).

Indeks osjetljivosti, V_i , stoji u visokoj pozitivnoj korelaciji sa prosječnom površinom traheja u ksilemu ($r = 0,83$), površinom solitarnih traheja ($r = 0,77$) i površinom grupisanih traheja ($r = 0,74$). Zapaža se visoka, negativna veza V_i sa brojem traheja po mm^2 ksilema ($r = -0,94$) i brojem grupisanih traheja u ksilemu izbojka ($r = -0,82$). Utvrđena je značajna negativna korelacija V_i sa brojem pojedinačnih traheja ($r = -0,68$) i sa brojem grupa traheja ($r = -0,68$).

Dokazana je značajna pozitivna korelacija V_g sa ukupnim brojem traheja u ksilemu izbojka ($r = 0,60$), brojem grupa traheja po mm^2 ksilema ($r = 0,57$) i brojem traheja u jednoj grupi ($r = 0,68$). Indeks grupisanja nalazi se u značajnoj negativnoj korelaciji sa indeksom osjetljivosti ($r = -0,60$).

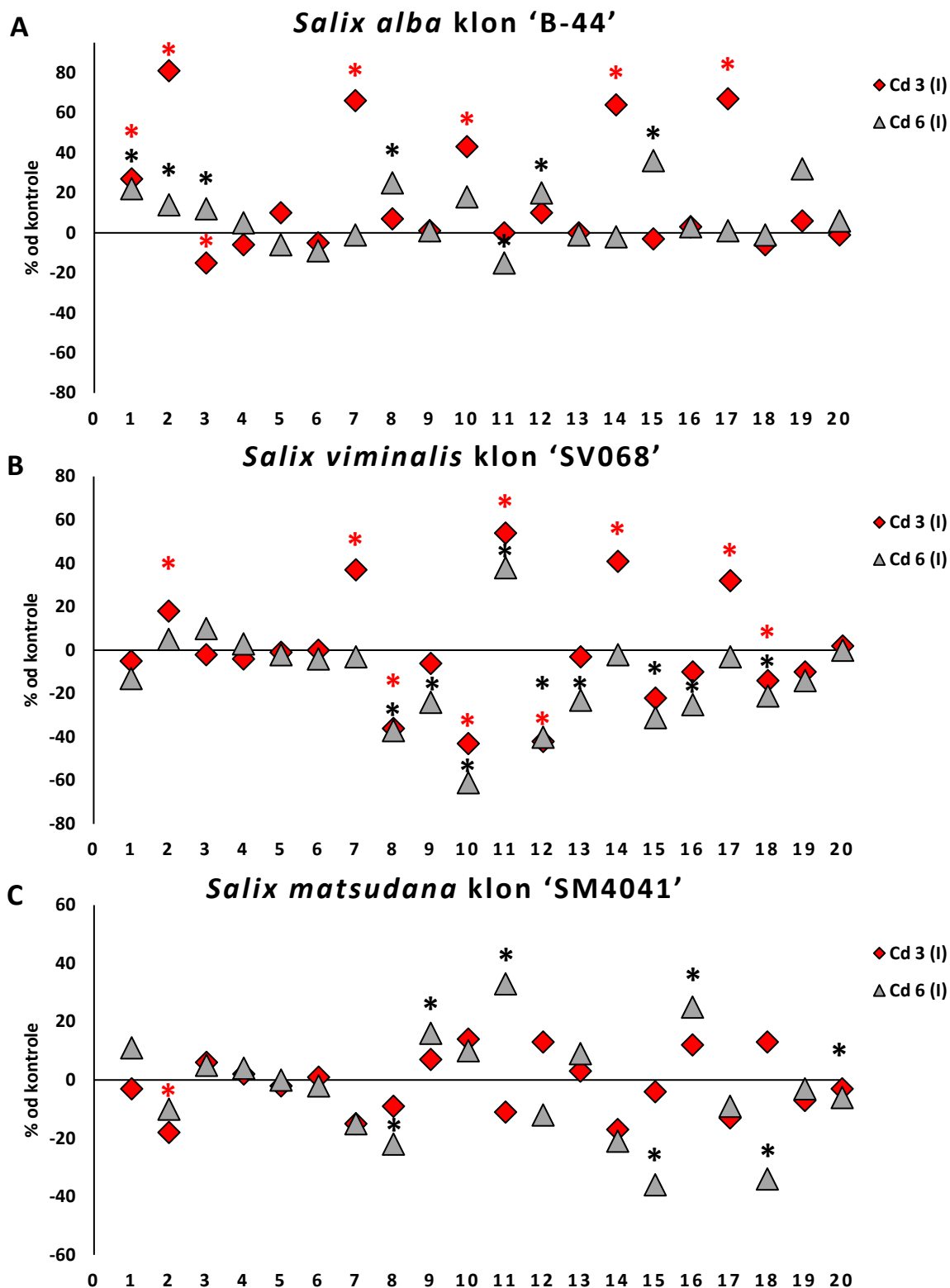
5.1.8. Uticaj kadmijuma na anatomske karakteristike izbojaka klonova vrba

Trofaktorijalna analiza varijanse je pokazala stepen uticaja nezavisnih faktora klona ('B-44', 'SV068' i 'SM4041'), tretmana (Cd 3, Cd 6, Cd 3+L i Cd 6+L) i tri faze (termina) uzorkovanja (juni, avgust i septembar), kao i njihovih interakcija na anatomske karaktere izbojaka (Tabela P36.).

Poprečni presjeci izbojaka klonova vrba gajenih u uslovima tretmana Cd 3 i Cd 6 prikazani su u Prilogu (Slike P14. – P19.). Tretmani Cd 3 i Cd 6 su uticali na većinu anatomskih karaktera izbojaka tokom tri faze uzorkovanja (Tabele P37. – P45.; Slike 30-32.).

Pod uticajem tretmana Cd 3 i Cd 6, proporcije tkiva izbojaka prvog uzorka klona 'B-44', izuzev sekundarnog ksilema i srži, značajno odstupaju od kontrole. Procenti pokoričnog tkiva i primarne kore su većih vrijednosti u poređenju sa kontrolom. Tretman Cd 3 je uzrokovao značajno smanjenje proporcije sekundarne kore, dok je Cd 6 imao suprotan efekat, kada se uporedi sa kontrolom. Procenat traheja u ksilemu izbojaka klona 'B-44', procentualni udio pojedinačnih i grupisanih traheja su signifikantno veći u odnosu na kontrolni uzorak samo pri tretmanu Cd 3. U prisustvu Cd 3 ustanovljeno je statistički značajno povećanje vrijednosti k_h . Broj traheja po mm^2 ksilema, broj pojedinačnih traheja i broj grupisanih traheja su značajno povećani u poređenju sa kontrolom samo pri tretmanu Cd 6 (Slika 30A. i Tabela P37.).

Od procentualnih učešća tkiva izbojka klona 'SV068', u prvoj fazi uzorkovanja zapaža se jedino značajno povećanje procenta primarne kore pri tretmanu Cd 3 u odnosu na kontrolu. Izbojak klona 'SV068' je na tretmane Cd 3 i Cd 6 reagovao statistički značajnim odstupanjem većine parametara traheja, u odnosu na kontrolne biljke. U prisustvu oba tretmana Cd, broj traheja po mm^2 ksilema, broj pojedinačnih traheja, broj grupa traheja i k_h su imali statistički značajno smanjene vrijednosti, dok je V_i bio povećan u odnosu na kontrolni uzorak. Prosječna površina traheja u ksilemu izbojka klona 'SV068', površina solitarnih traheja i površina jedne grupisane traheje su bile značajno smanjene samo u prisustvu Cd 6, u poređenju sa kontrolom (Slika 30B. i Tabela P38.).



Slika 30. Promjene anatomskih karakterata izbojaka tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (I uzorak). 1 - procenat epidermisa; 2 - procenat parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore; 3 - procenat floema; 4 - procenat ksilema (primarni + sekundarni); 5 - odnos ksilem/ floem; 6 - procenat srži; 7 - procenat traheja u ksilemu; 8 - broj traheja po mm² ksilema; 9 - prosječna površina traheja; 10 - $k_h \cdot 10^{-6}$; 11 - V_i ; 12 - broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; 13 - površina pojedinačnih traheja; 14 - procenat pojedinačnih traheja u ksilemu; 15 - broj grupisanih traheja po mm² ksilema; 16 - površina jedne grupisane traheje; 17 - procenat grupisanih traheja u ksilemu; 18 - broj grupa traheja po mm² ksilema; 19 - broj traheja u jednoj grupi; 20 - V_g . *t*-test ukazuje na značajne razlike između kontrolnih i tretiranih izbojaka, (*): $p \leq 0,05$.

U pogledu značajnih odstupanja anatomskih karaktera izbojaka, klon 'SM4041' se na početku eksperimenta sa dvije koncentracije Cd pokazao kao najotporniji, što se vidi u najmanjem broju značajno različitih anatomskih karaktera u kada se uporede sa kontrolom. Tretman Cd 3 uzrokovao je malo ali statistički značano smanjenje proporcije primarne kore u odnosu na kontrolu. Ostali parametri tkiva izbojka klona 'SM4041' nisu značajno odstupali od kontrole pri tretmanu Cd 3, u prvoj fazi uzorkovanja. Parametri traheja bili su osjetljiviji na uticaj tretmana Cd 6. Broj traheja po mm² ksilema, broj grupisanih traheja, broj grupa traheja po mm² ksilema i V_g značajno su smanjeni u prisustvu Cd 6, u odnosu na kontrolu. Tretman Cd 6 uzrokovao je povećanje prosječne površine traheja u ksilemu, površine jedne grupisane traheje i V_i (Slika 30C. i Tabela P39.).

U drugoj fazi uzorkovanja uočava se izraženije negativno dejstvo primjenjenih tretmana Cd 3 i Cd 6 na analizirane karaktere izbojaka klonova vrba (Slika 31A. -C.; Tabele P40. -P42.).

Procentualni udio parenhima + kolenhima + sklerenhima u izbojku klona 'B-44' u drugoj fazi uzorkovanja je statistički značajno povećan u prisustvu Cd 3 i Cd 6, u odnosu na kontrolu, ali promjene proporcija ostalih tkiva nisu bile signifikantne.

Izraženo je negativno dejstvo dva tretmana Cd na parametre traheja. Broj traheja po mm² ksilema značajno je snižen u poređenju sa kontrolom samo pri tretmanu Cd 3, dok je prosječna površina traheja bila značajno niža u prisustvu obe koncentracije Cd. Vrijednost k_h značajno je smanjena samo pri Cd 3, ali je ksilem izbojaka klona 'B-44' imao značajno veći V_i od kontrole pri oba tretmana Cd.

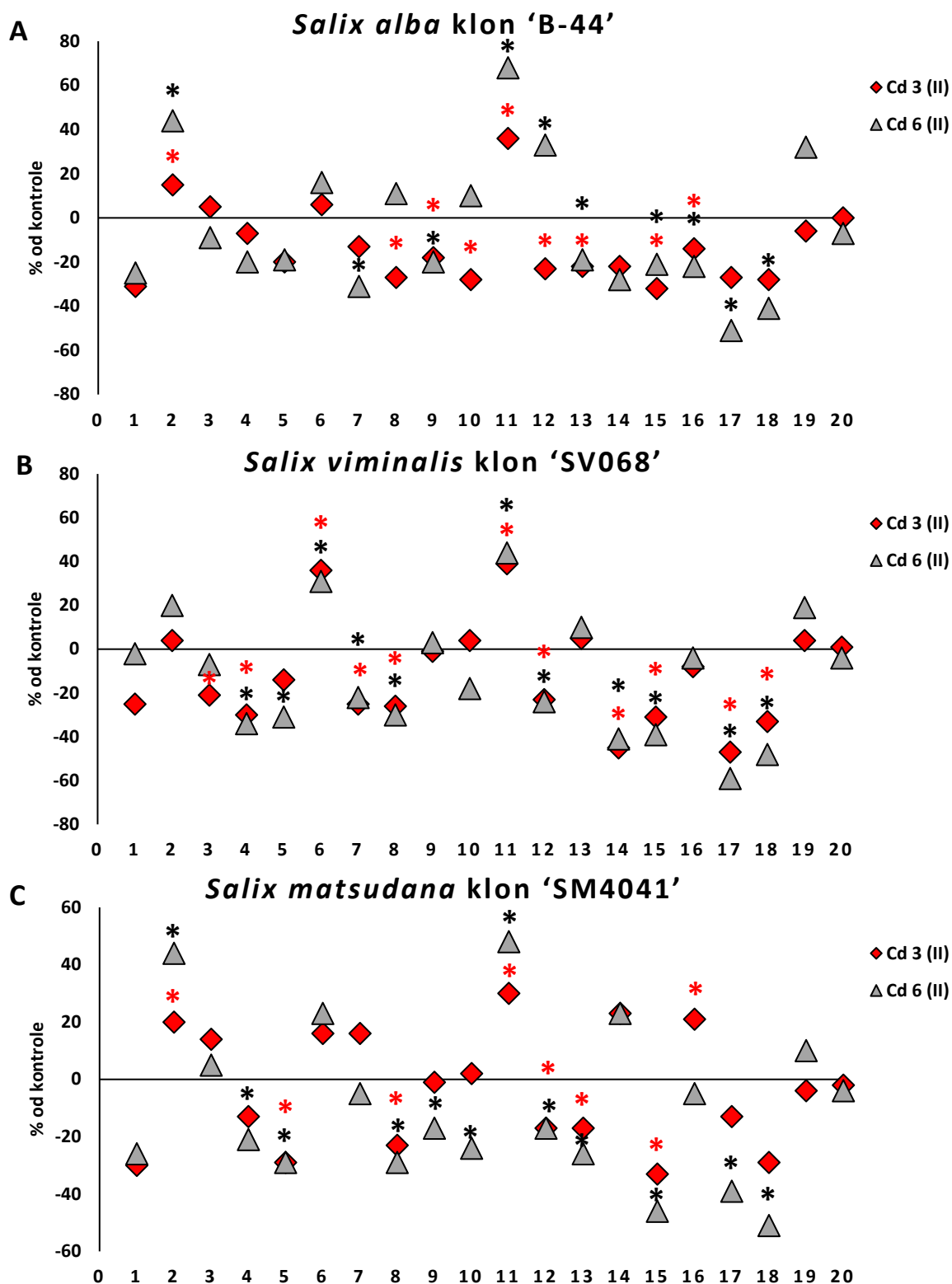
Površina solitarnih traheja je signifikantno manja nego kod kontrolnog uzorka u prisustvu oba tretmana, Cd 3 i Cd 6. Na broj pojedinačnih traheja dva tretmana Cd imala su suprotno dejstvo, Cd 3 negativno, ali Cd 6 pozitivno, kada se uporedi sa kontrolom. Broj grupisanih traheja u ksilemu i površina jedne grupisane traheje imaju statistički značajno niže vrijednosti od kontrole pri tretmanu sa obe koncentracije Cd, ali samo je Cd 6 uzrokovao značajno manji procentualni udio grupisanih traheja i broj grupa traheja po mm² ksilema izbojka klona 'B-44' (Slika 31A. i Tabela P40.).

U izbojcima klonova 'SV068' i 'SM4041' iz druge faze uzorkovanja, tretmani Cd 3 i Cd 6 su značajnije uticali na proporcije tkiva, nego kod klona 'B-44'.

Samo tretman Cd 3 je doveo do značajnog smanjenja procentualnog udjela sekundarne kore, ali oba tretmana su uzrokovala značajno niži procenat sekundarnog ksilema i značajno veći procenat srži u izbojku klona 'SV068' uzorkovanog u drugoj fazi eksperimenta. Procentualno učešće traheja u ksilemu i broj traheja po mm² ksilema izbojka klona 'SV068' su značajno smanjeni od kontrole pri tretmanu sa obe koncentracije, Cd 3 i Cd 6. Broj i procentualni udio pojedinačnih i grupisanih traheja, kao i broj grupa traheja po mm² ksilema izbojka klona 'SV068' takođe su bili statistički značajno manji od kontrole, kao posljedica tretmana Cd 3 i Cd 6. U prisustvu Cd 3 i Cd 6 je zapažen porast V_i (Slika 31B. i Tabela P41.).

U izbojku klona 'SM4041' iz druge faze uzorkovanja tretmani Cd 3 i Cd 6 uzrokovali su signifikantno povećanje proporcije primarne kore, dok je procenat sekundarnog ksilema malo, ali značajno smanjen u odnosu na kontrolu samo pri tretmanu Cd 6.

Broj traheja po mm² ksilema, broj i površina lumena solitarnih traheja i broj grupisanih traheja su značajno smanjeni pri oba tretmana Cd. Na površinu jedne grupisane traheje uticao je samo tretman Cd 3, uzokujući značajno povećanje u odnosu na kontrolu. Broj grupa traheja po mm² ksilema je značajno manji samo u uslovima dvostruko veće koncentracije, Cd 6. Vrijednost k_h značajno je manja samo pri tretmanu sa Cd 6, dok je V_i značajno povećan pod uticajem i Cd 3 i Cd 6 (Slika 31C. i Tabela P42.).



Slika 31. Promjene anatomskih karaktera izbojaka tri klonova *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (II uzorak). 1 - procenat epidermisa; 2 - procenat parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore; 3 - procenat floema; 4 - procenat ksilema (primarni + sekundarni); 5 - odnos ksilem/ floem; 6 - procenat srži; 7 - procenat traheja u ksilemu; 8 - broj traheja po mm² ksilema; 9 - prosječna površina traheja; 10 - $k_b \cdot 10^{-6}$; 11 - V_i ; 12 - broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; 13 - površina pojedinačnih traheja; 14 - procenat pojedinačnih traheja u ksilemu; 15 - broj grupisanih traheja po mm² ksilema; 16 - površina jedne grupisane traheje; 17 - procenat grupisanih traheja u ksilemu; 18 - broj grupa traheja po mm² ksilema; 19 - broj traheja u jednoj grupi; 20 - V_g . *t*-test ukazuje na značajne razlike između kontrolnih i tretiranih izbojaka, (*): $p \leq 0,05$.

Na kraju eksperimenta, u trećoj fazi uzorkovanja, najizraženije je negativno dejstvo tretmana Cd 3 i Cd 6 na anatomske karaktere izbojaka tri klona vrba (Slika 32A. - 32C., Tabele P43. - P45.).

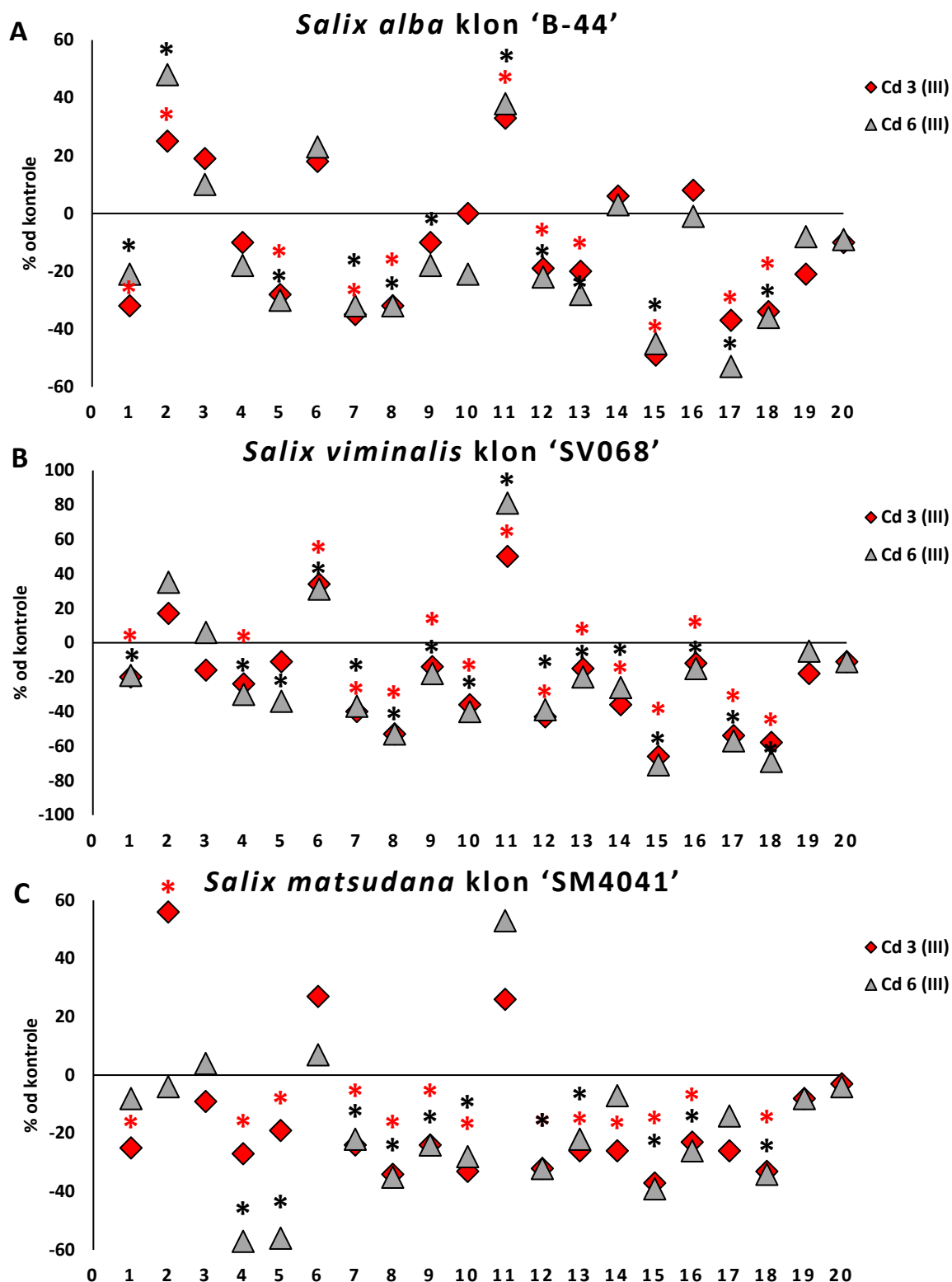
Procentualno učešće epidermisa i odnos sekundarnog ksilema i sekundarnog floema su parametri izbojka klona 'B-44' uzorkovanog u trećoj fazi, koji su pokazali značano smanjenje pri tretmanima Cd 3 i Cd 6, u odnosu na kontrolni uzorak. S druge strane, oba tretmana Cd su kod ovog klona uzrokovala signifikantni porast proporcije parenhima + kolenhima + skerenhima primarne kore, u poređenju sa kontrolom.

Izraženo je negativno dejstvo Cd 3 i Cd 6 na procentualno učešće traheja u ksilemu izbojka klona 'B-44' i broj traheja po mm² ksilema. Navedeni parametri su imali niže vrijednosti zbog značajne redukcije broja i površine lumena pojedinačnih traheja, broja i procentualnog učešća grupisanih traheja i broja grupa traheja po mm² ksilema u prisustvu Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom. Nakon primjene oba tretmana Cd, došlo je do značajnog povećanja V_i ksilema u odnosu na kontrolu (Slika 32A. i Tabela P43.).

U trećoj fazi uzorkovanja, u izbojcima klona 'SV068' proporcije epidermisa i sekundarnog ksilema su značajno niže, dok su proporcije parenhima + kolenhima + skerenhima primarne kore i srži značajno povećane pri tretmanima Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolnim uzorkom. njegovih izbojaka i parametri traheja pokazali najnegativnije značajno odstupanje u odnosu na kontrolu.

Zabilježeno je statistički značajno smanjenje svih parametara traheja u prisustvu oba tretmana Cd (Cd 3 i Cd 6) u odnosu na kontrolu, izuzev broja traheja u jednoj grupi. Takvo odstupanje je uslovalo porast V_i i smanjenu k_h ksilema izbojaka klona 'SV068' (Slika 32B. i Tabela P44.).

Klon 'SM4041' je u trećoj fazi uzorkovanja imao značajno smanjen procenat epidermisa i značajno povećan procenat parenhima + kolenhima + skerenhima primarne kore samo u uslovima tretmana Cd 3. Slično klonu 'SV068', u izbojcima klona 'SM4041' uticaj dva tretmana Cd je uzrokovao signifikantno smanjenje procenta sekundarnog ksilema i odnosa sekundarnog ksilema i sekundarnog floema, što je posljedica značajne redukcije broja i površine lumena solitarnih i grupnih traheja i broja grupa traheja po mm² ksilema. Kao odgovor na negativno dejstvo dvije povećane koncentracije Cd i u izbojcima ovog klona bilježi se smanjenje k_h (Slika 32C. i Tabela P45.).



Slika 32. Promjene anatomskih karakterata izbojaka tri klonova *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (III uzorak). 1 - procenat epidermisa; 2 - procenat parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore; 3 - procenat floema; 4 - procenat ksilema (primarni + sekundarni); 5 - odnos ksilem/ floem; 6 - procenat srži; 7 - procenat traheja u ksilemu; 8 - broj traheja po mm² ksilema; 9 - prosječna površina traheja; 10 - $k_h \cdot 10^{-6}$; 11 - V_i ; 12 - broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; 13 - površina pojedinačnih traheja; 14 - procenat pojedinačnih traheja u ksilemu; 15 - broj grupisanih traheja po mm² ksilema; 16 - površina jedne grupisane traheje; 17 - procenat grupisanih traheja u ksilemu; 18 - broj grupa traheja po mm² ksilema; 19 - broj traheja u jednoj grupi; 20 - V_g . *t*-test ukazuje na značajne razlike između kontrolnih i tretiranih izbojaka, (*): $p \leq 0,05$.

5.1.9. Promjene anatomskih osobina izbojaka klonova vrba tretiranih kadmijumom u prisustvu limunske kiseline

Poprečni presjeci izbojaka klonova vrba gajenih u uslovima tretmana Cd 3+L i Cd 6+L prikazani su u Prilogu (Slike P20. – P25.). Uticaj tretmana Cd 3+L i Cd 6+L na anatomske karaktere izbojaka, tokom tri faze eksperimenta, prikazan je u Tabelama P46. - P54. i na Slikama 33.-35.

U prvoj fazi uzorkovanja izbojaka klonova vrba, pri tretmanima Cd 3+L i Cd 6+L, zapaža se zaštitno dejstvo limunske kiseline, što je posebno uočljivo u kombinaciji sa dvostruko većom koncentracijom Cd od dozvoljene. Dva tretmana Cd u prisustvu limunske kiseline imala su najslabiji uticaj na parametre izbojaka klona 'B-44' što se ogleda u malobrojnim značajnim, ali pozitivnim odstupanjima od kontrole (Slika 33A. i Tabela P46.).

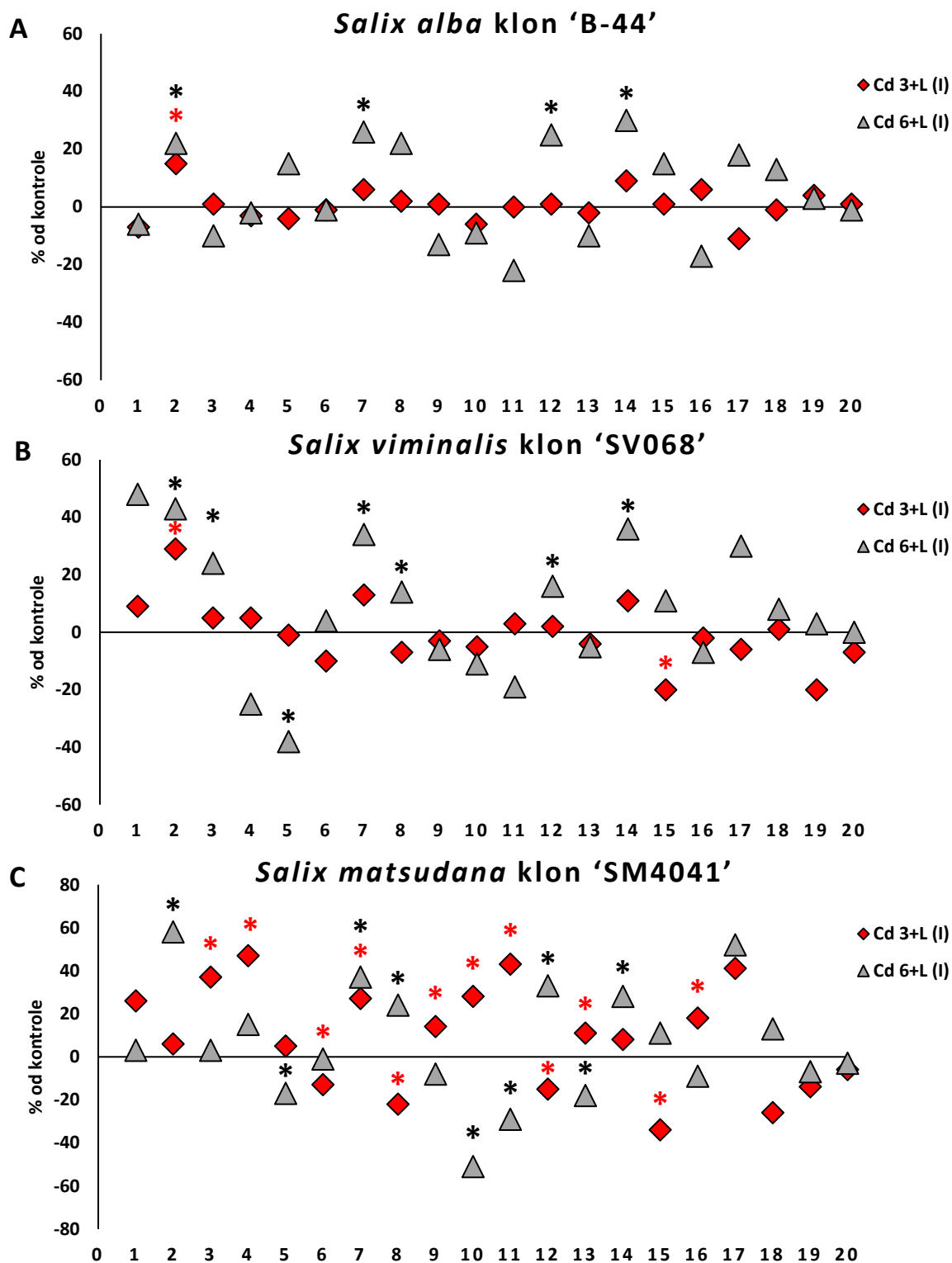
Pri tretmanima Cd 3+L i Cd 6+L značajno je veći procenat parenhima + kolenhima + sklerenhima, dok je tretman Cd 6 u prisustvu limunske kiseline doveo do signifikantnog porasta procentualnog učešća traheja u ksilemu izbojaka klona 'B-44', broja pojedinačnih traheja po mm² ksilema i procenta pojedinačnih traheja u odnosu na kontrolni uzorak (Slika 33A.).

Kod klona 'SV068' u prvoj fazi uzorkovanja, pod uticajem tretmana Cd 3+L i Cd 6+L takođe je značajno veći procenat parenhima + kolenhima + sklerenhima, dok je tretman Cd 6 u prisustvu limunske kiseline doveo do signifikantnog porasta procentualnog učešća floema u odnosu na kontrolu (Slika 33B. i Tabela P47.).

Pri tretmanu Cd 6+L, broj i procentualni udio traheja u ksilemu izbojaka klona 'SV068' značajno je veći uslijed porasta broja pojedinačnih traheja po mm² ksilema i procenta pojedinačnih traheja, u odnosu na kontrolni uzorak. U prisustvu Cd 3+L došlo je do malog, ali značajnog smanjenja broja grupisanih traheja po jedinici površine ksilema, kada se upoređi sa kontrolom (Slika 33B.).

U uslovima tretmana Cd 3 sa limunskom kiselinom, u prvoj fazi uzorkovanja, došlo je do značajnog povećanja procentualnih udjela floema i ksilema (primarnog i sekundarnog) u izbojku klona 'SM4041'; tretman Cd 6+L je sa svoje strane uzrokovao značajno povećanje procentualnog udjela parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore, u poređenju sa kontrolnim uzorkom (Slika 33C. i Tabela P48.).

Izbojak klona 'SM4041' bio je osjetljiviji na tretmane Cd u prisustvu limunske kiseline na nivou ksilema. Pri tretmanu Cd 3+L je došlo do opadanja: broja traheja po mm² ksilema i broja solitarnih traheja, koje su imale veću površinu lumena u odnosu na kontrolu; na navedene parametre tretman Cd 6+L je suprotno uticao. Značajno manji broj krupnijih grupisanih traheja zabilježen je samo pri tretmanu Cd 3+L, u odnosu na kontrolu. Na vrijednosti k_h i V_i , dva tretmana Cd u prisustvu limunske kiseline imala su nasuprotan uticaj (Slika 33C.).



Slika 33. Promjene anatomskih karakterata izbojaka tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (I uzorak). 1 - procenat epidermisa; 2 - procenat parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore; 3 - procenat floema; 4 - procenat ksilema (primarni + sekundarni); 5 - odnos ksilem/floem; 6 - procenat srži; 7 - procenat traheja u ksilemu; 8 - broj traheja po mm² ksilema; 9 - prosječna površina traheja; 10 – $k_h \cdot 10^{-6}$; 11 – V_g ; 12 - broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; 13 - površina pojedinačnih traheja; 14 - procenat pojedinačnih traheja u ksilemu; 15 - broj grupisanih traheja po mm² ksilema; 16 - površina jedne grupisane traheje; 17 - procenat grupisanih traheja u ksilemu; 18 - broj grupa traheja po mm² ksilema; 19 - broj traheja u jednoj grupi; 20 - V_g . *t*-test ukazuje na značajne razlike između kontrolnih i tretiranih izbojaka, (*): $p \leq 0,05$.

U drugoj fazi uzorkovanja, kao najosjetljiviji genotip na dejstvo povećanih koncentracija Cd u prisustvu limunske kiseline na nivou izbojka, pokazao se klon 'B-44'. Na procentualna učešća većine pojedinih tkiva izbojka tretmani Cd 3+L i Cd 6+L nisu značajno uticali, izuzev što su uzrokovali signifikantan porast proporcije floema u odnosu na kontrolni uzorak. Samo je pri tretmanu Cd 3+L došlo do male, ali značajne redukcije procenta srži izbojka, u poređenju sa kontrolom (Slika 34A. i Tabela P49.).

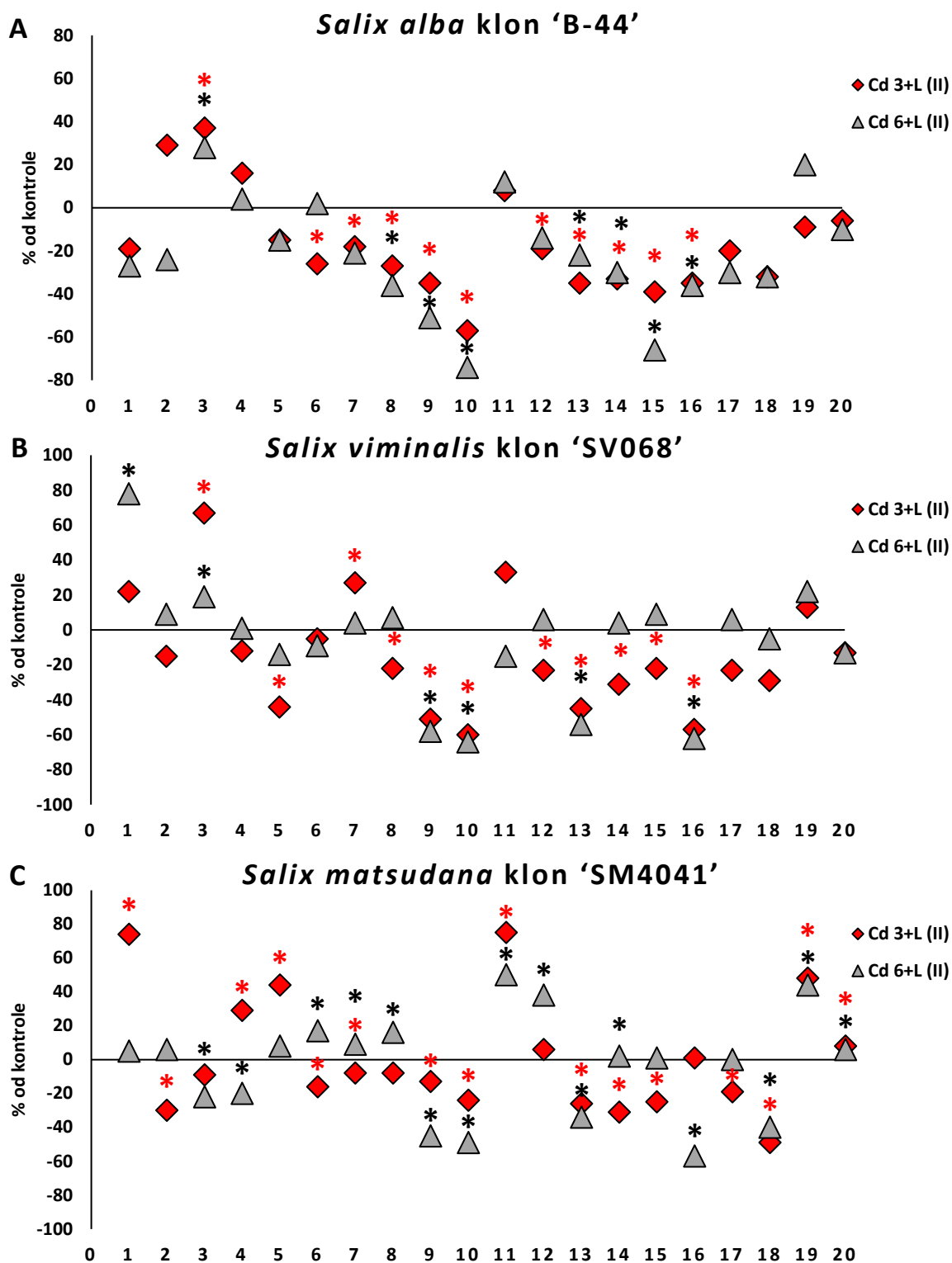
S druge strane, parametri i pojedinačnih i grupnih traheja izbojka klona 'B-44' značajno su manji u odnosu na kontrolu, što ukazuje da limunska kiselina nije imala zaštitni efekat na dejstvo tretmana Cd u drugoj fazi eksperimenta. Koncentracije Cd 3+L i Cd 6+L uzrokovale su signifikantno smanjenje broja traheja po mm² ksilema, površine lumena traheja i procentualnog učešća traheja u izbojcima klona 'B-44', u odnosu na kontrolu. Redukcija navedenih parametara je posljedica značajno smanjenja broja i površine pojedinačnih i grupisanih traheja, kao i procentualne zastupljenosti pojedinačnih traheja u ksilemu, u odnosu na kontrolni uzorak. Zabilježena je statistički značajna redukcija vrijednosti k_h pri oba tretmana Cd sa limunskom kiselinom (Slika 34A.).

Slična reakcija na dejstvo tretmana Cd 3+L i Cd 6+L u drugoj fazi uzorkovanja izbojka se uočava kod klona 'SV068', čiji je floem na tretmane Cd u prisustvu limunske kiseline reagovao povećanjem procentualnog učešća u poređenju sa kontrolom. Bilježi se i povećanje procenta epidermisa pri tretmanu Cd 6+L, u odnosu na kontrolu (Slika 34B. i Tabela P50.).

Broj traheja po jedinici površine ksilema, broj solitarnih i broj grupisanih traheja izbojka klona 'SV068' pokazuju malo ali signifikantno opadanje samo pri tretmanu Cd 3+L, u odnosu na kontrolu. Oba tretmana Cd, u prisustvu limunske kiseline, uzrokovala su signifikantno smanjenje prosječne površine lumena traheja, površine lumena pojedinačnih, površine lumena jedne grupisane traheje i vrijednosti k_h ksilema izbojka klona 'SV068', u poređenju sa kontrolom (Slika 34C.).

Kod klona 'SM4041' uzorci izbojaka u drugoj fazi tretmana pokazuju značajno povećanje procentualnih učešća epidermisa i ksilema, ali značajno opadanje procenta procenta parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore kao odgovor na tretman Cd 3+L, u poređenju sa kontrolnim uzorkom. Procenat floema je značajno manji od kontrole samo pri tretmanu Cd 6+L (Slika 34C. i Tabela P51.).

Prosječna površina lumena traheja i površina lumena pojedinačnih traheja u ksilemu izbojka klona 'SM4041' su značajno manji nakon primjene Cd 3+L i Cd 6+L, kada se uporedi sa kontrolom. Broj grupisanih traheja je značajno niži samo pri tretmanu Cd 3+L, dok je površina jedne grupisane traheje značajno manja samo pri tretmanu Cd 6+L. Broj grupa traheja po mm² ksilema i k_h pokazuju signifikantno manje vrijednosti u uslovima primjene obe koncentracije Cd sa limunskom kiselinom (Slika 34C.).



Slika 34. Promjene anatomskih karakterata izbojaka tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (II uzorak). 1 - procenat epidermisa; 2 - procenat parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore; 3 - procenat floema; 4 - procenat ksilema (primarni + sekundarni); 5 - odnos ksilem/floem; 6 - procenat srži; 7 - procenat traheja u ksilemu; 8 - broj traheja po mm² ksilema; 9 - prosječna površina traheja; 10 – $k_b \cdot 10^{-6}$; 11 – V_g ; 12 - broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; 13 - površina pojedinačnih traheja; 14 - procenat pojedinačnih traheja u ksilemu; 15 - broj grupisanih traheja po mm² ksilema; 16 - površina jedne grupisane traheje; 17 - procenat grupisanih traheja u ksilemu; 18 - broj grupa traheja po mm² ksilema; 19 - broj traheja u jednoj grupi; 20 - V_g . *t*-test ukazuje na značajne razlike između kontrolnih i tretiranih izbojaka, (*): $p \leq 0,05$.

Na kraju eksperimenta, u trećoj fazi uzorkovanja, svi klonovi su imali statistički značajno smanjenje parametara traheja. Ovakva reakcija je posljedica dugotrajnih tretmana Cd u kombinaciji sa limunskom kiselinom, koja je najizraženija kod klona 'SV068' (Slika 35A.-C. Tabele P52.-P54.).

Tretman Cd 6+L je uzrokovao statistički značajno smanjenje procentualnih učešća epidermisa parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore izbojka klona 'B-44', u odnosu na kontrolni uzorak. Procenat floema je bio signifikantno veći u prisustvu oba tretmana Cd sa limunskom kiselinom (Slika 35A. i Tabela P52.).

Parametri traheja izbojka klona 'B-44' uzorkovanog u trećoj fazi eksperimenta bili su osjetljivi na dejstvo obe koncentracije Cd, iako su primjenjene u kombinaciji sa limunskom kiselinom. Procentualna zastupljenost traheja u ksilemu, broj traheja po mm² ksilema i površina lumena traheja, zatim, površina lumena solitarnih i svi parametri grupisanih traheja su na tretmane Cd 3+L i Cd 6+L reagovali statistički značajnim smanjenjem vrijednosti, kada se uporedi sa kontrolnim uzorkom. Broj grupa traheja po mm² ksilema i vrijednost k_h su značajno opali samo pri tretmanu Cd 6+L (Slika 35A.).

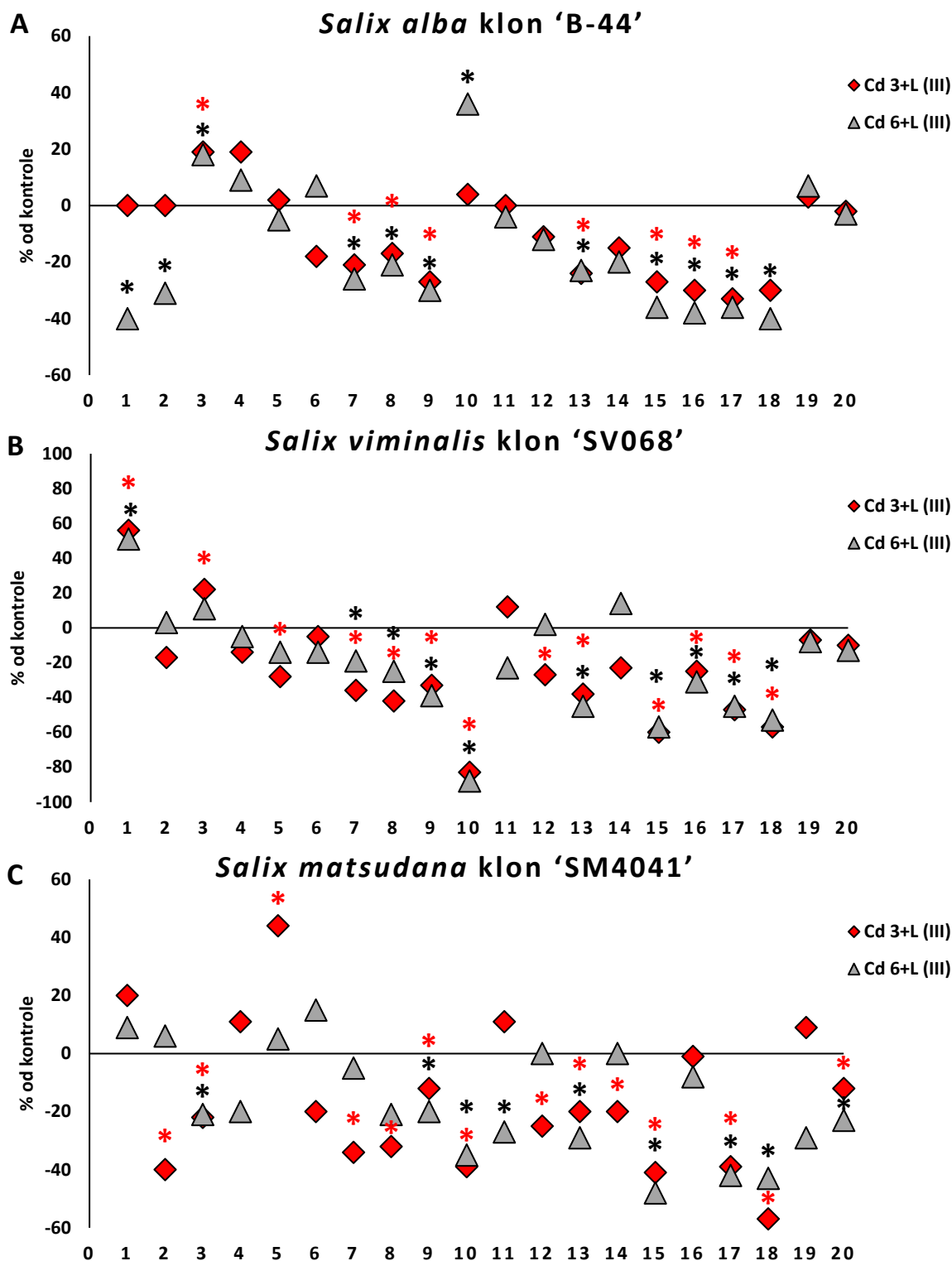
U izbojku klona 'SV068', u trećoj fazi uzorkovanja, zapaženo je povećanje procentualnog učešća epidermisa u prisustvu oba tretmana Cd sa limunskom kiselinom. Tretman Cd 3+L je uzrokovao značajno smanjenje procenta floema, u odnosu na kontrolu (Slika 35B. i Tabela P53.).

Slično kao i kod klona 'B-44', parametri traheja izbojka klona 'SV068' uzorkovanog u trećoj fazi eksperimenta bili su osjetljivi na dejstvo obe koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline. Procentualna zastupljenost traheja u ksilemu, broj traheja po mm² ksilema i površina lumena traheja su signifikantno manji od kontrolnog uzorka pri oba tretmana, Cd 3+L i Cd 6+L. U ksilemu izbojka klona 'SV068', površine lumena solitarnih traheja i jedne grupisane traheje, broj i procentualno učešće grupisanih traheja, broj grupa traheja po mm² ksilema i k_h reagovali su statistički značajno nižim vrijednostima u prisustvu oba tretmana Cd sa limunskom kiselinom, u poređenju sa kontrolom (Slika 35B.).

Izbojak klona 'SM4041', u trećoj fazi eksperimenta, je pri tretmanu Cd 3+L imao signifikantno smanjenje procentualnog učešća parenhima + kolenhima + sklerenhima korteksa. Procenat floema je značajno veći u prisustvu oba tretmana Cd sa limunskom kiselinom (Slika 35C. i Tabela P54.).

Broj traheja po mm² ksilema i procentualno učešće traheja, u izbojku klona 'SM4041' iz treće faze uzorkovanja, značajno su manji od kontrolnog uzorka samo u prisustvu tretmana Cd 3+L. Prosječna površina lumena traheja u ksilemu izbojka klona, kao i površina lumena solitarnih traheja, su statistički značajno smanjene kao reakcija na tretmane Cd 3+L i Cd 6+L, kada se uporedi sa kontrolnim uzorkom. Pored toga, broj i procentualno učešće grupisanih traheja i broj grupa traheja po mm² ksilema, vrijednost k_h i V_g su značajno niže od kontrole u prisustvu oba tretmana Cd 6 sa limunskom kiselinom (Slika 35C.).

Značajnost promjena anatomskih karaktera izbojaka klonova *Salix* spp. tretiranih Cd (Cd 3 i Cd 6) i Cd u prisustvu limunske kiseline (Cd 3+L i Cd 6+L) tokom tri uzorkovanja prikazana je u Tabeli 25. Razlike uticaja primjenjenih tretmana Cd bez limunske kiseline i Cd u prisustvu limunske kiseline na analizirane parametre izbojaka izuzetno su značajne za skoro sve uzorke i sve klonove.



Slika 35. Promjene anatomskih karakterata izbojaka tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (III uzorak). 1 - procenat epidermisa; 2 - procenat parenhima + kolenhima + sklerenhima primarne kore; 3 - procenat floema; 4 - procenat ksilema (primarni + sekundarni); 5 - odnos ksilem/floem; 6 - procenat srži; 7 - procenat traheja u ksilemu; 8 - broj traheja po mm² ksilema; 9 - prosječna površina traheja; 10 - $k_n \cdot 10^{-6}$; 11 - V_i ; 12 - broj pojedinačnih traheja po mm² ksilema; 13 - površina pojedinačnih traheja; 14 - procenat pojedinačnih traheja u ksilemu; 15 - broj grupisanih traheja po mm² ksilema; 16 - površina jedne grupisane traheje; 17 - procenat grupisanih traheja u ksilemu; 18 - broj grupa traheja po mm² ksilema; 19 - broj traheja u jednoj grupi; 20 - V_g . *t*-test ukazuje na značajne razlike između kontrolnih i tretiranih izbojaka, (*): $p \leq 0,05$.

Tabela 25. Značajnost promjena anatomskih karakteristika izbojaka klonova *Salix* spp. tretiranih Cd (Cd 3 i Cd 6) i Cd u prisustvu limunske kiseline (Cd 3+L i Cd 6+L) tokom tri uzorkovanja (I, II i III)

Anatomski parametri izbojka	klon <i>Salix</i> spp.																	
	'B-44'						'SV068'						'SM4041'					
	I		II		III		I		II		III		I		II		III	
	A ⁺	B ⁺⁺	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
% Epidermisa	**	**	**	ns	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
% Primarne kore	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
% Sekundarnog floema	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**
% Ksilema (primarni + sekundarni)	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**
% Srži	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
% Traheja u ksilemu	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Ukupan broj traheja po mm ² ksilema	**	ns	ns	**	**	**	**	*	**	*	**	*	**	**	**	**	ns	**
Prosječna P svih traheja (μm ²)	ns	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
k _h	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
V _i	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**
P pojedinačnih traheja	ns	**	**	*	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	ns
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
P jedne grupisane traheje (μm ²)	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
% Grupisanih traheja u ksilemu	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	ns
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	**	**	**	**	**	**	**	*	**	*	ns	*	**	**	**	**	**	**
Broj traheja u jednoj grupi	ns	**	*	**	**	**	**	**	**	*	**	*	**	**	**	**	**	**
V _g	ns	**	**	*	**	**	**	ns	**	**	ns	ns	*	*	**	**	**	**

P – površina, k_h – teoretska hidraulička provodljivost ksilema, V_i – indeks osjetljivosti na emboliju i kavitaciju, V_g – indeks grupisanja traheja; A⁺ – poređenje Cd 3: Cd 3+L; B⁺⁺ – poređenje Cd 6: Cd 6+L; t test značajnosti, ns - nije značajno, * - p ≤ 0.05 i ** - p ≤ 0.01.

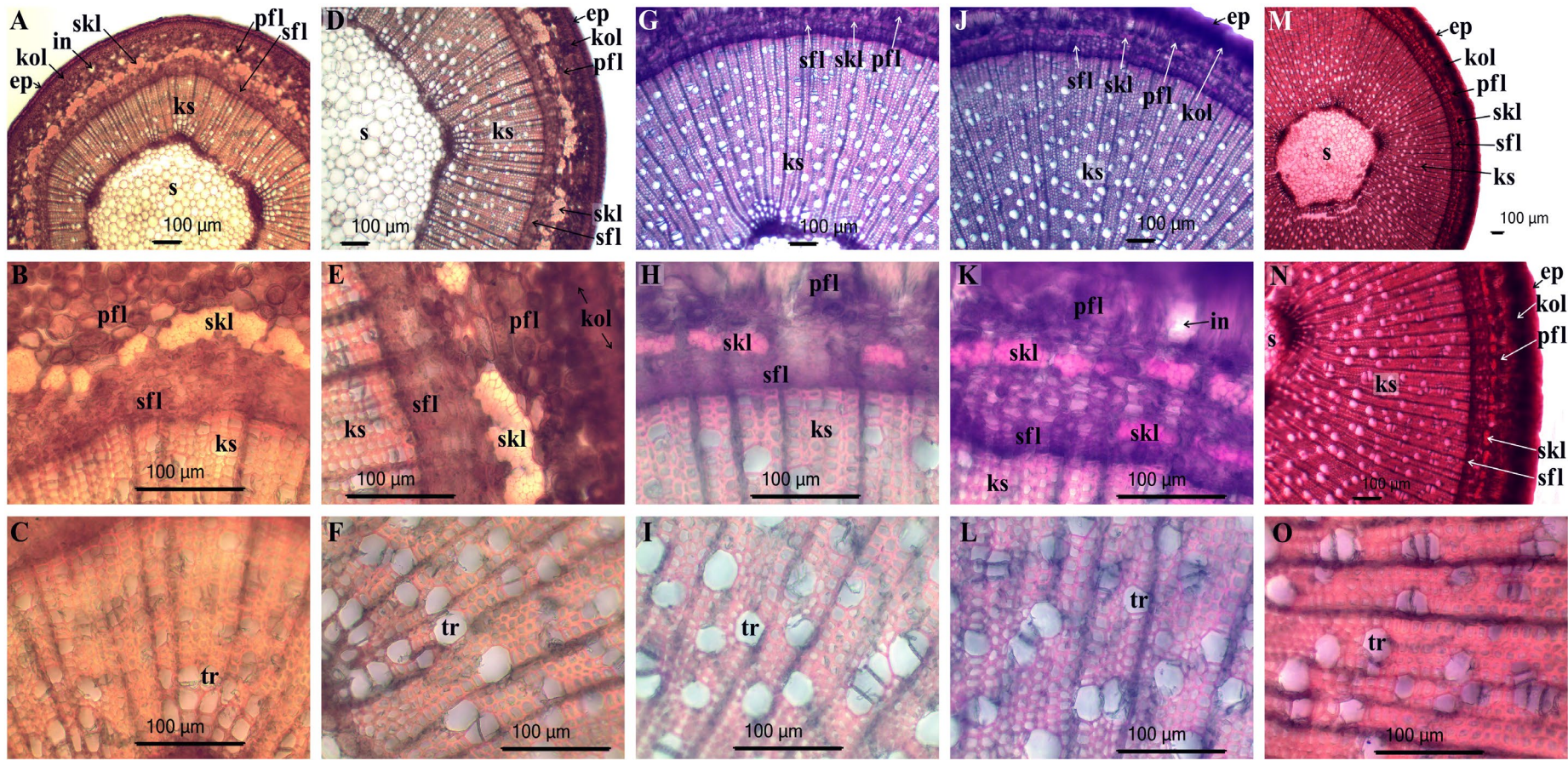
5.1.10. Stereološka analiza izbojaka klonova vrba

Stereološka analiza pokazala je da između klonova vrba postoje statistički značajne razlike u volumenskim gustinama (Vv) tkiva izbojaka kontrolnih biljaka. Kod klonova 'SV068' i 'SM4041' zabilježen je značajno veći Vv intercelulara primarne kore i manji Vv sekundarnog floema u poređenju sa klonom 'B-44'. Klon 'B-44' odlikovao se signifikantno najmanjim Vv srži. Statistički značajno najveći Vv sklerenhima i Vv srži prisutan je u izbojcima klona 'SV068', koji je imao značajno manji udio Vv ksilema (primarnog i sekundarnog, zajedno) u odnosu na klonove 'B-44' i 'SM4041' (Tabela 26.; Slike 36.-38.).

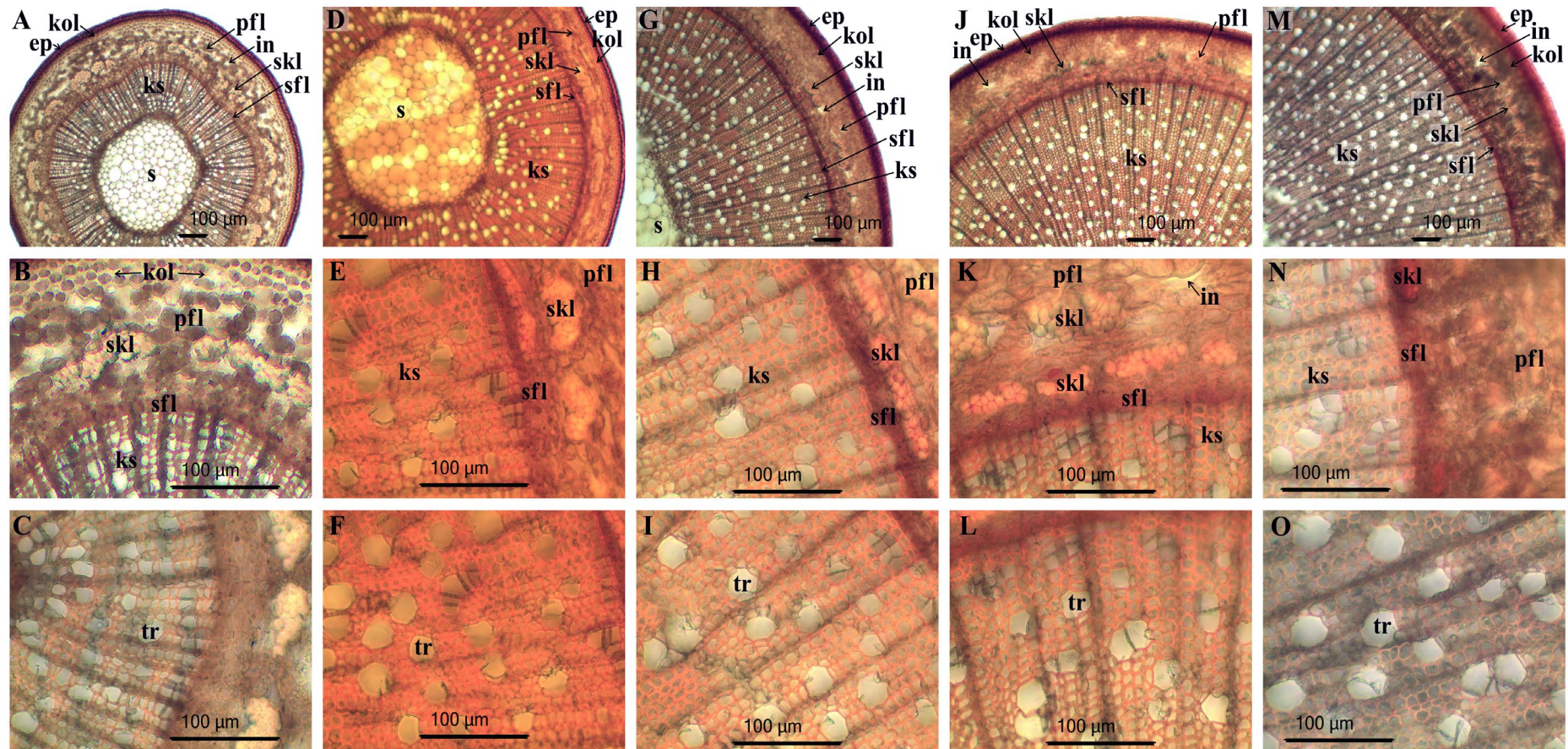
Tabela 26. Volumenske gustine (Vv, %) tkiva izbojaka tri *Salix spp.* klona, kontrolni uzorak (srednja vrijednost ± standardna greška i koeficijent varijacije u %, u zagradi)

Tkivo izbojka	Klon		
	'B-44'	'SV068'	'SM4041'
Vv epidermisa	5,86 ± 0,19 (16,3) ab*	6,48 ± 0,32 (24,4) a	5,38 ± 0,27 (25,1) b
Vv intercelulara primarne kore	1,53 ± 0,17 (56,8) b	3,32 ± 0,47 (71,1) a	3,36 ± 0,90 (39,6) a
Vv parenhima + kolenhima primarne kore	17,5 ± 0,67 (19,2) a	15,6 ± 0,78 (25,1) a	17,3 ± 1,02 (29,6) a
Vv sklerenhima	6,75 ± 0,34 (25,3) b	8,75 ± 0,59 (33,5) a	7,71 ± 0,42 (27,5) ab
Vv floema	9,19 ± 0,25 (13,8) a	7,88 ± 0,37 (23,7) b	7,86 ± 0,24 (15,3) b
Vv ksilema	46,2 ± 2,20 (23,8) a	32,6 ± 1,81 (27,6) b	42,5 ± 1,96 (23,1) a
Vv srži	12,9 ± 1,33 (51,4) c	25,3 ± 0,83 (16,4) a	15,8 ± 0,54 (17,1) b

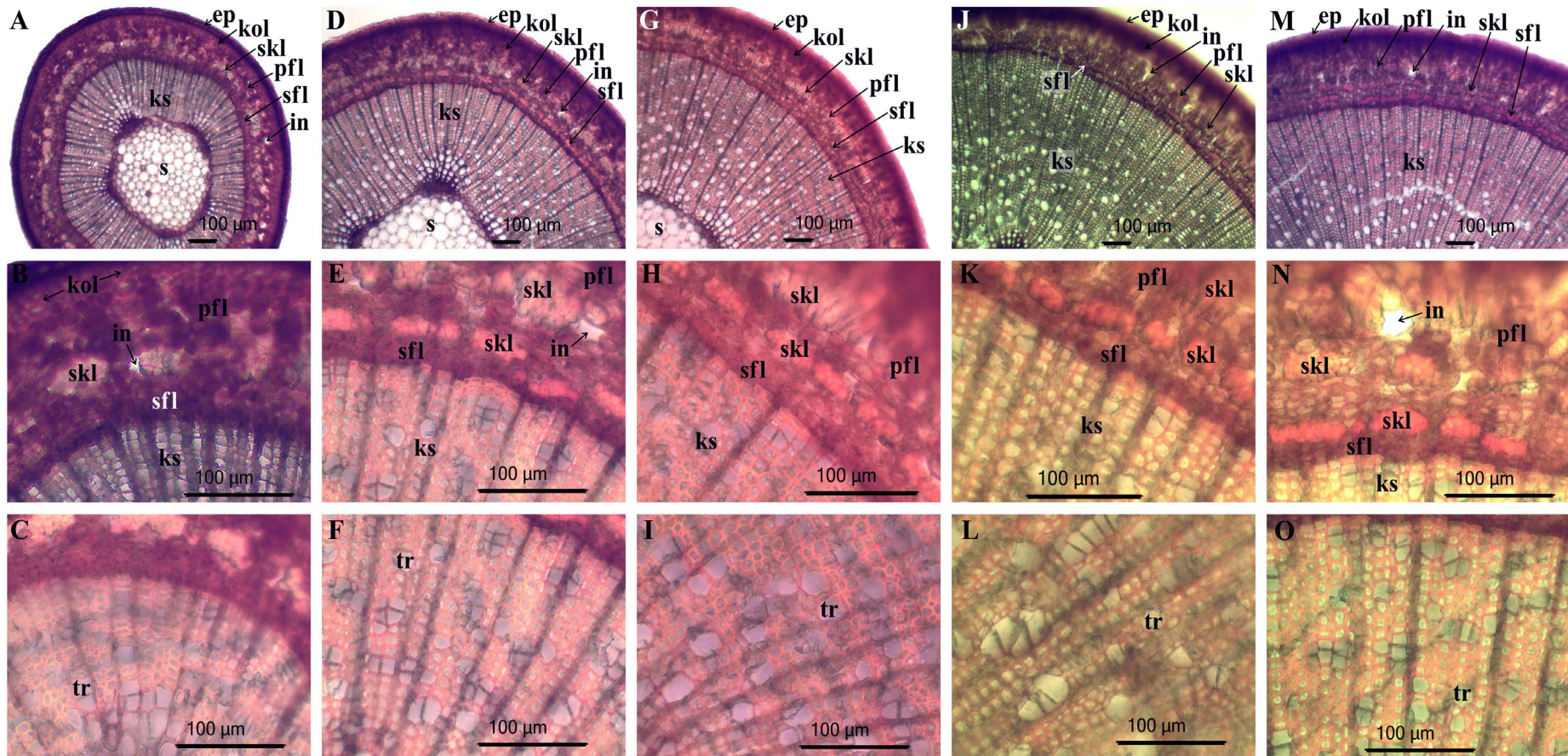
* Razlike između vrijednosti sa različitim malim slovom su bile statistički značajne za klonove, za $p \leq 0,05$ (Dankanov test).



Slika 36. Poprečni presjek izbojka *Salix alba* klon 'B-44' (kontrolni uzorak) obojen floroglucinolom. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kol – kolenhim, pfl – primarni floem, sfl – sekundarni floem, skl – sklerenhim, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



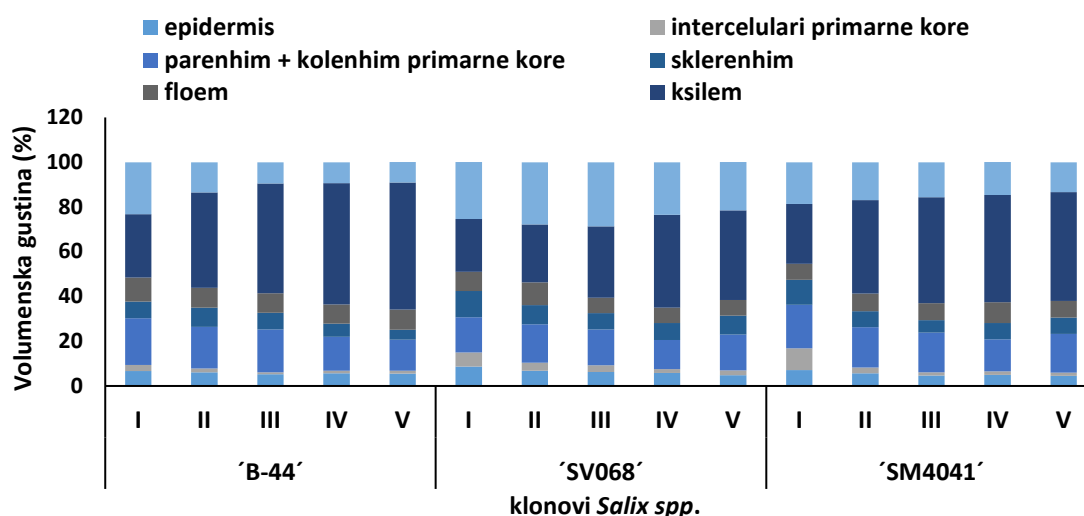
Slika 37. Poprečni presjek izbojka *Salix viminalis* klon 'SV068' (kontrolni uzorak) obojen floroglucinolom. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kol – kolenhim, pfl – primarni floem, sfl – sekundarni floem, skl – sklerenhim, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



Slika 38. Poprečni presjek izbojka *Salix matsudana* klon 'SM4041' (kontrolni uzorak) obojen floroglucinolom. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kol – kolenhim, pfl – primarni floem, sfl – sekundarni floem, skl – sklerenhim, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.

Razlike u volumenskim gustinama analiziranih tkiva između pojedinih segmenata izbojaka, posmatrano za svaki klon posebno, bile su značajne za većinu parametara. Kod svih klonova značajno najveći Vv epidermisa i Vv intercelulara primarne kore zabilježeni su u vršnom, najmlađem segmentu izbojaka. Kod klona 'B-44' mlađi segmenti izbojaka imali su značajno veći Vv primarne kore u odnosu na starije segmente, dok kod klonova 'SV068' i 'SM4041' nisu zapažene statistički značajne razlike ovog parametra između pojedinih segmenata izbojaka. Mlađi segmenti izbojaka klona 'B-44' imali su značajno veći Vv sklerenhima u odnosu na starije, bazalne segmente, pri čemu Vv sklerenhima opada idući od vrha prema bazi izbojaka. Kod klonova 'SV068' i 'SM4041' samo vršni, najmlađi segment izbojaka imao je značajno najveći Vv sklerenhima. Signifikantno najveći Vv sekundarnog floema zabilježen je u različitim segmentima izbojaka, gledajući klonove zasebno: u najmlađem segmentu klona 'B-44', u drugom segmentu klona 'SV068' i u starijem, četvrtom segmentu izbojaka klona 'SM4041'. Vv ksilema (primarnog + sekundarnog) je značajno najveći u starijim segmentima pri bazi izbojaka klonova 'B-44' i 'SV068'. Međutim, kod klona 'SM4041' samo se najmlađi segment značajno razlikovao po najmanjem Vv ksilema u odnosu na preostale segmente između kojih nije bilo značajne razlike. Volumenska gustina srži opadala je od najmlađeg ka najstarijem segmentu izbojaka klonova 'B-44' i 'SM4041'. S druge strane, zapaženo je da je kod klona 'SV068' Vv srži rastao od vršnog, prvog ka centralnom trećem segmentu izbojaka, a onda opadao ka petom, bazalnom segmentu (Tabela 27.; Slika 39.)

Između istih segmenata izbojaka analiziranih klonova vrba postoje statistički značajne razlike u vrijednostima izračunatih Vv tkiva izbojaka, koje su najizraženije na nivou prvog, najmlađeg segmenta. Najmlađi, vršni segment izbojaka klona 'SV068' odlikuje se značajno najvećim Vv epidermisa. Što se tiče ostalih segmenata izbojaka, samo između klonova 'SV068' i 'SM4041' postoji statistički značajna razlika u Vv epidermisa III i IV segmenta. Klon 'SM4041' je imao statistički značajno najveću vrijednost Vv intercelulara primarne kore u najmlađem segmentu. Kod klona 'B-44' zapažene su značajno najmanje vrijednosti Vv intercelulara u svim segmentima izbojaka. Kod klona 'B-44' najmlađi, vršni segment izbojaka imao je statistički značajno najmanju vrijednost Vv sklerenhima i značajno najveću vrijednost Vv sekundarnog floema, u odnosu na klonove 'SV068' i 'SM4041'. U svim segmentima klona 'SV068' utvrđena je signifikantno najmanja vrijednost Vv ksilema (primarnog + sekundarnog). Kod ovog klona zapaža se i najveći Vv srži koji se u poređenju sa preostalim analiziranim klonovima statistički značajno razlikuje na nivou od II do V segmenta (Tabela 27).



Slika 39. Volumenske gustine (Vv) tkiva različitih segmenata izbojaka klonova *Salix* spp., (I – najmlađi, vršni segment; V – najstariji, bazalni segment izbojaka).

Tabela 27. Volumenske gustine (Vv) tkiva različitih segmenata izbojka tri *Salix* spp. klonova, kontrolni uzorak (srednja vrijednost ± standardna greška i koeficijent varijacije u %, u zagradi)

Tkivo liske	segment	Klon <i>Salix</i> spp.		
		'B-44'	'SV068'	'SM4041'
Vv epidermisa	I	6,72 ± 0,56 (18,7) A; b*	8,68 ± 0,68 (17,4) A; a	7,09 ± 0,41 (13,0) A; b
	II	6,03 ± 0,42 (15,6) AB; a	6,84 ± 0,26 (8,51) B; a	5,70 ± 0,66 (25,9) B; a
	III	5,30 ± 0,27 (11,5) B; ab	6,19 ± 0,38 (13,7) BC; a	4,67 ± 0,48 (22,9) B; b
	IV	5,71 ± 0,14 (5,52) AB; ab	5,84 ± 0,39 (14,9) BC; a	4,91 ± 0,26 (12,1) B; b
	V	5,53 ± 0,44 (17,8) AB; a	4,84 ± 0,37 (17,4) C; a	4,50 ± 0,38 (18,8) B; a
Vv intercelulara primarne kore	I	2,65 ± 0,36 (30,6) A; c	6,27 ± 1,43 (50,9) A; b	9,71 ± 3,27 (22,2) A; a
	II	1,81 ± 0,18 (22,2) B; b	3,51 ± 0,73 (46,6) B; a	2,57 ± 0,26 (17,4) B; ab
	III	0,79 ± 0,25 (70,0) C; c	3,07 ± 0,61 (50,9) B; a	1,41 ± 0,54 (85,1) B; b
	IV	1,12 ± 0,27 (53,9) BC; b	1,62 ± 0,42 (57,6) B; a	1,62 ± 0,57 (79,2) B; a
	V	1,28 ± 0,28 (49,2) BC; b	2,12 ± 0,50 (53,1) B; a	1,47 ± 0,24 (36,1) B; a
Vv parenhima + kolenhima primarne kore	I	20,9 ± 1,24 (13,3) A; a	15,8 ± 2,31 (32,8) A; a	19,5 ± 3,21 (36,8) A; a
	II	18,6 ± 0,72 (8,63) A; a	17,2 ± 1,29 (16,8) A; a	18,0 ± 1,19 (14,8) A; a
	III	19,1 ± 0,80 (9,30) A; a	16,0 ± 1,43 (20,0) A; a	17,7 ± 3,12 (39,4) A; a
	IV	15,2 ± 1,29 (19,0) B; a	13,0 ± 0,86 (14,8) A; a	14,2 ± 0,69 (10,9) A; a
	V	13,9 ± 0,91 (14,6) B; a	16,0 ± 2,50 (34,8) A; a	17,3 ± 2,43 (31,4) A; a
Vv sklerenhima	I	7,46 ± 0,47 (14,0) A; b	11,7 ± 0,45 (8,67) A; a	11,1 ± 0,40 (8,00) A; a
	II	8,51 ± 0,58 (15,2) A; a	8,61 ± 0,46 (12,0) AB; a	7,18 ± 0,61 (19,0) B; a
	III	7,43 ± 0,45 (13,6) A; a	7,37 ± 0,70 (21,3) B; a	5,63 ± 0,34 (13,7) C; b
	IV	5,88 ± 0,39 (14,9) B; a	7,58 ± 1,07 (31,6) B; a	7,31 ± 0,48 (14,7) B; a
	V	4,46 ± 0,27 (13,7) C; a	8,50 ± 2,28 (60,2) AB; a	7,30 ± 0,60 (18,3) B; a
Vv floema	I	10,6 ± 0,55 (11,5) A; a	8,53 ± 0,10 (2,49) AB; b	7,09 ± 0,40 (12,4) B; c
	II	8,92 ± 0,45 (11,3) B; a	10,1 ± 0,97 (21,5) A; a	7,80 ± 0,75 (21,6) B; a
	III	8,84 ± 0,44 (11,0) B; a	6,82 ± 0,67 (22,1) B; b	7,60 ± 0,30 (8,88) B; ab
	IV	8,57 ± 0,53 (13,8) B; a	6,87 ± 0,53 (17,2) B; b	9,32 ± 0,26 (6,24) A; a
	V	9,00 ± 0,51 (12,9) B; a	7,07 ± 0,65 (20,8) B; b	7,49 ± 0,36 (10,7) B; ab
Vv ksilema	I	28,3 ± 2,82 (22,3) D; a	23,7 ± 3,00 (28,0) C; b	26,9 ± 1,28 (10,7) B; a
	II	42,6 ± 1,75 (9,20) C; a	26,0 ± 1,79 (15,4) BC; b	41,8 ± 2,54 (13,6) A; a
	III	49,0 ± 1,00 (4,58) B; a	31,9 ± 2,80 (19,6) B; b	47,4 ± 4,23 (20,0) A; a
	IV	54,1 ± 1,00 (4,07) AB; a	41,5 ± 2,61 (14,1) A; c	47,9 ± 1,48 (6,92) A; b
	V	56,8 ± 1,74 (6,87) A; a	40,1 ± 2,69 (15,0) A; c	48,6 ± 1,95 (9,00) A; b
Vv srži	I	23,3 ± 1,90 (18,2) A; a	25,3 ± 0,66 (5,86) ABC; a	18,6 ± 0,65 (7,86) A; b
	II	13,5 ± 3,20 (52,3) B; b	27,7 ± 1,60 (12,9) AB; a	17,0 ± 0,94 (12,3) AB; b
	III	9,50 ± 0,84 (19,9) B; c	28,6 ± 1,45 (11,3) A; a	15,6 ± 1,30 (18,7) ABC; b
	IV	9,41 ± 0,56 (13,3) B; c	23,6 ± 1,60 (15,1) BC; a	14,7 ± 0,82 (12,6) BC; b
	V	9,03 ± 1,33 (32,9) B; b	21,5 ± 2,14 (22,3) C; a	13,3 ± 1,01 (17,0) C; b

*Razlike između vrijednosti sa različitim velikim slovom su bile statistički značajne za različite segmente izbojka istog klonova, za $p \leq 0,05$ (Dankanov test). Razlike između vrijednosti sa različitim malim slovom su bile statistički značajne za iste segmente izbojka različitih klonova, za $p \leq 0,05$ (Dankanov test). I, II, III, IV, V – segmenti izbojka: I – vršni (najmlađi) segment, II do IV središnji segmenti, V – bazalni (najstariji) segment.

5.1.10.1. Analiza osnovnih komponenti volumenskih gustina tkiva izbojaka klonova vrba

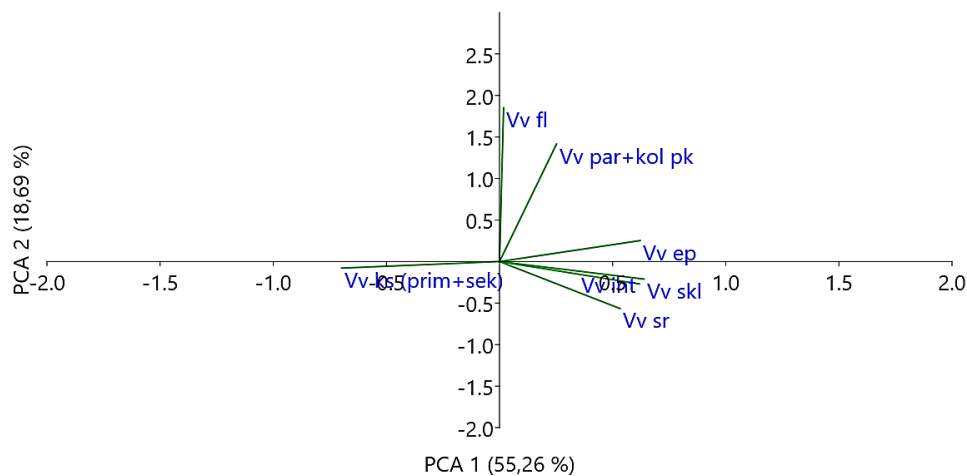
Rezultati PCA analize volumenskih gustina tkiva izbojaka, sprovedene na nivou tri klonova *Salix* spp. pokazali su da se izdvajaju dvije osnovne komponente koje definišu 73,95 % varijacije uzorka (Tabela 28).

Tabela 28. Rezultati PCA analize volumenskih gustina tkiva izbojaka od značaja za varijabilnost tri klona *Salix* spp.

Volumenske gustine tkiva (Vv)	PCA 1	PCA 2
Vv epidermisa	0,8623	-0,1187
Vv intercelulara primarne kore	0,8569	0,1262
Vv parenhima + kolenhima primarne kore	0,3495	-0,6641
Vv sklerenhima	0,8860	0,0989
Vv floema	0,0250	-0,8691
Vv ksilema	-0,9677	0,0368
Vv srži	0,7386	0,2655
Expl.Var	3,8681	1,3082
Prp.Totl	0,5526	0,1869

*Istaknute su vrijednosti > 0,7000. Vv – volumenska gustina.

Prva osnovna komponenta objašnjava 55,26 % od ukupne varijacije, definišu je Vv epidermisa, Vv intercelulara, Vv sklerenhima, Vv ksilema i Vv srži. Druga osnovna komponenta objašnjava 18,69 % varijacije i definisana je samo sa Vv floema (Slika 40).



Slika 40. Grafički prikaz varijabilnosti volumenskih gustina (Vv) tkiva izbojaka klonova *Salix* spp. (kontrolni uzorak) dobijen na osnovu PCA metode. Vv ep – volumenska gustina epidermisa; Vv int – volumenska gustina intercelulara; Vv par + kol pk – volumenska gustina parenhima+kolenhima primarne kore; Vv skl – volumenska gustina sklerenhima; Vv fl – volumenska gustina floema; Vv ks – volumenska gustina ksilema; Vv sr – volumenska gustina srži.

5.1.10.2. Diskriminantna analiza volumenskih gustina tkiva izbojaka klonova vrba

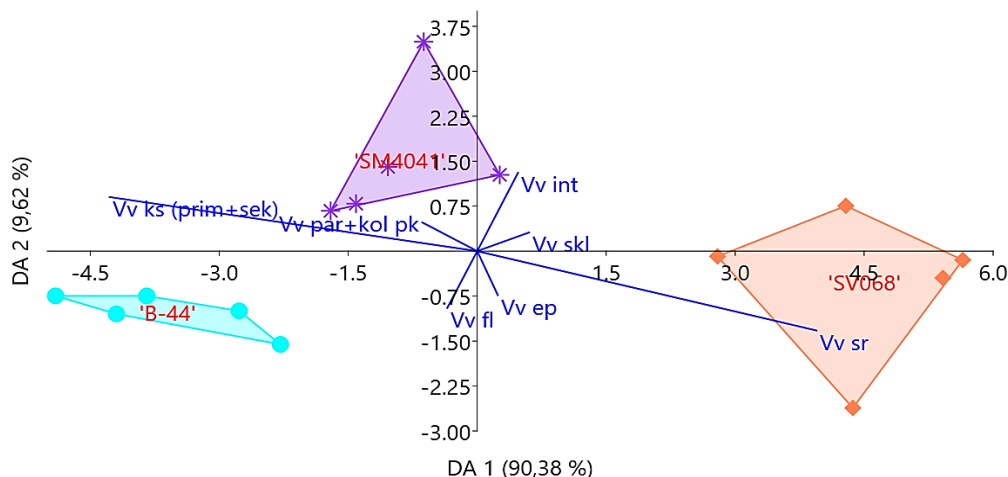
Diskriminantna analiza volumenskih gustina tkiva izbojaka tri klona *Salix* spp. (kontrolni uzorak) pokazala je da prve dvije ose definišu 100 % diskriminacije uzorka i obe su determinisane svim analiziranim Vv tkiva izbojaka. Razdvajanje na prvoj osi iznosi 90,38 %, dok druga osa definiše preostalih 9,62 % diskriminacije uzorka.

Tabela 29. Diskriminantna analiza volumenskih gustina tkiva izbojaka tri klona *Salix* spp. (kontrolni uzorak) i nivoi opterećenja prve dvije diskriminantne ose

Volumenske gustine tkiva (Vv)	DA 1	DA 2
Vv epidermisa	-26,885	111,8604
Vv intercelulara primarne kore	-59,890	238,1850
Vv parenhima + kolenhima primarne kore	-54,960	224,3664
Vv sklerenhima	-47,444	183,0554
Vv floema	-26,993	109,3698
Vv ksilema	-246,281	979,2505
Vv srži	-105,937	414,1014
Expl.Var	14,187	1,5106
Prp.Totl	0,9038	0,0962

*Istaknute su vrijednosti > 0,7000. Vv – volumenska gustina.

U prostoru prve diskriminantne ose izdvaja se klon 'SV068' na pozitivnoj strani, na osnovu visokog sadržaja Vv srži. Klon 'B-44' se izdvaja na suprotnoj (negativnoj) strani prve diskriminantne ose i karakteriše ga visoka Vv floema. U pozitivnom dijelu druge diskriminantne ose se izdvaja se klon 'SM4041' sa visokim Vv intercelulara primarne kore i Vv sklerenhima (Tabela 29.; Slika 41.).



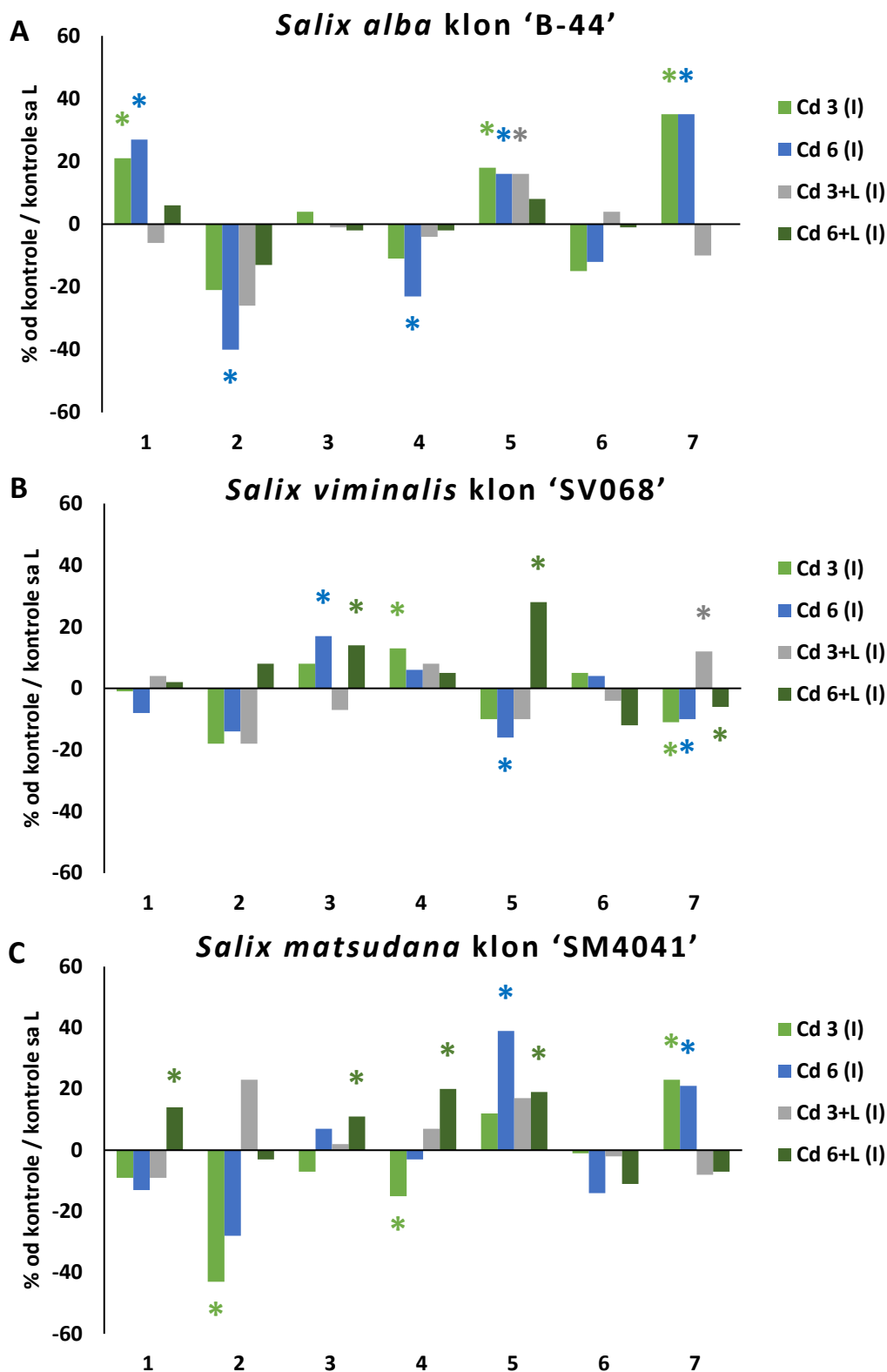
Slika 41. Grafički prikaz položaja klonova *Salix* spp. (kontrolni uzorak) u prostoru prve i druge diskriminantne ose, na osnovu volumenskih gustina (Vv) tkiva izbojaka izbojaka. Vv ep – volumenska gustina epidermisa; Vv int – volumenska gustina intercelulara; Vv par + kol pk – volumenska gustina parenhima+kolenhima primarne kore; Vv skl – volumenska gustina sklerenhima; Vv fl – volumenska gustina floema; Vv ks – volumenska gustina ksilema; Vv sr – volumenska gustina srži.

5.1.11. Promjene volumenskih gustina tkiva izbojaka tri klona *Salix* spp. pod uticajem kadmijuma i kadmijuma u prisustvu limunske kiseline

U prvoj fazi uzorkovanja, tretmani Cd 3 i Cd 6 doveli su do signifikantnog povećanja Vv epidermisa, Vv sekundarnog floema i Vv srži izbojaka klona 'B-44', u odnosu na kontrolu. Volumenska gustina intercelulara i Vv ksilema (primarnog + sekundarnog) su značajno manje od kontrole nakon tretmana Cd 6. U prisustvu tretmana Cd 3+L i Cd 6+L, razlike u Vv tkiva izbojaka tretiranih i kontrolnih biljaka klona 'B-44' nisu bile signifikantne posmatrajući većinu parametara, izuzev značajnog povećanja Vv sekundarnog floema u prisustvu Cd 3+L, u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (Slika 42A., Tabele P55. i P56.).

Kod klona 'SV068', tretmani Cd 6 i Cd 6+L su uzrokovali značajno povećanje Vv primarnog floema kada se upoređi sa kontrolom, odnosno kontrolom sa limunskom kiselinom. Tretman Cd 6 je doveo do značajnog smanjenja, a Cd 6+L do značajnog povećanja Vv sekundarnog floema u odnosu na kontrolni uzorak. Volumenska gustina sklerenhima je značajno povećana samo pri tretmanu Cd 3, u odnosu na kontrolu. Zapaža se da je Vv srži značajno povećan u prisustvu tretmana Cd 3+L u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom. Ostali tretmani su imali negativan efekat na Vv srži, u poređenju na kontrolom, odnosno, sa kontrolom sa limunskom kiselinom (Slika 42B., Tabele P57. i P58.).

Tretman Cd 3 je imao negativan efekat na Vv intercelulara i Vv sklerenhima izbojaka klona 'SM4041' u odnosu na kontrolu. U prisustvu Cd 6 povećana je Vv sekundarnog floema, od kontrole. Signifikantno povećanje Vv srži izazvano je u prisustvu oba tretmana Cd, u poređenju sa kontrolom. Tretman Cd 3+L nije uzrokovao značajne promene Vv tkiva izbojaka klona 'SM4041' u odnosu na kontrolu. Tretman Cd 6+L je imao pozitivan efekat na Vv epidermisa, Vv primarnog floema, Vv sklerenhima i Vv sekundarnog floema, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (Slika 42C., Tabela P59. i P60.).



Slika 42. Promjene volumenskih gustina (Vv) tkiva izbojaka klonova *Salix* spp. (I uzorak) pod uticajem tretmana: Cd 3, Cd 6, Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa odgovarajućom kontrolom. 1 - Vv epidermisa, 2 - Vv intercelulara primarne kore, 3 - Vv parenhima + kolenhima primarne kore, 4 - Vv sklerenhima, 5 - Vv floema, 6 - Vv ksilema, 7 - Vv srži. *t* test ukazuje na statistički značajne razlike između tretiranih i kontrolnih uzoraka: (*) $p \leq 0,05$.

Najosjetljiviji parametri izbojaka klona 'B-44', u drugoj fazi uzorkovanja, bile su Vv intercelulara primarne kore i Vv sklerenhima, koje su pod uticajem tretmana Cd 3, Cd 6 i Cd 3+L statistički značajno manje od kontrole, tj. kontrole sa limunskom kiselinom. U prisustvu Cd 6 i Cd 6+L zapaža se značajno povećanje Vv primarnog floema u poređenju sa kontrolom, odnosno kontrolom sa limunskom kiselinom.

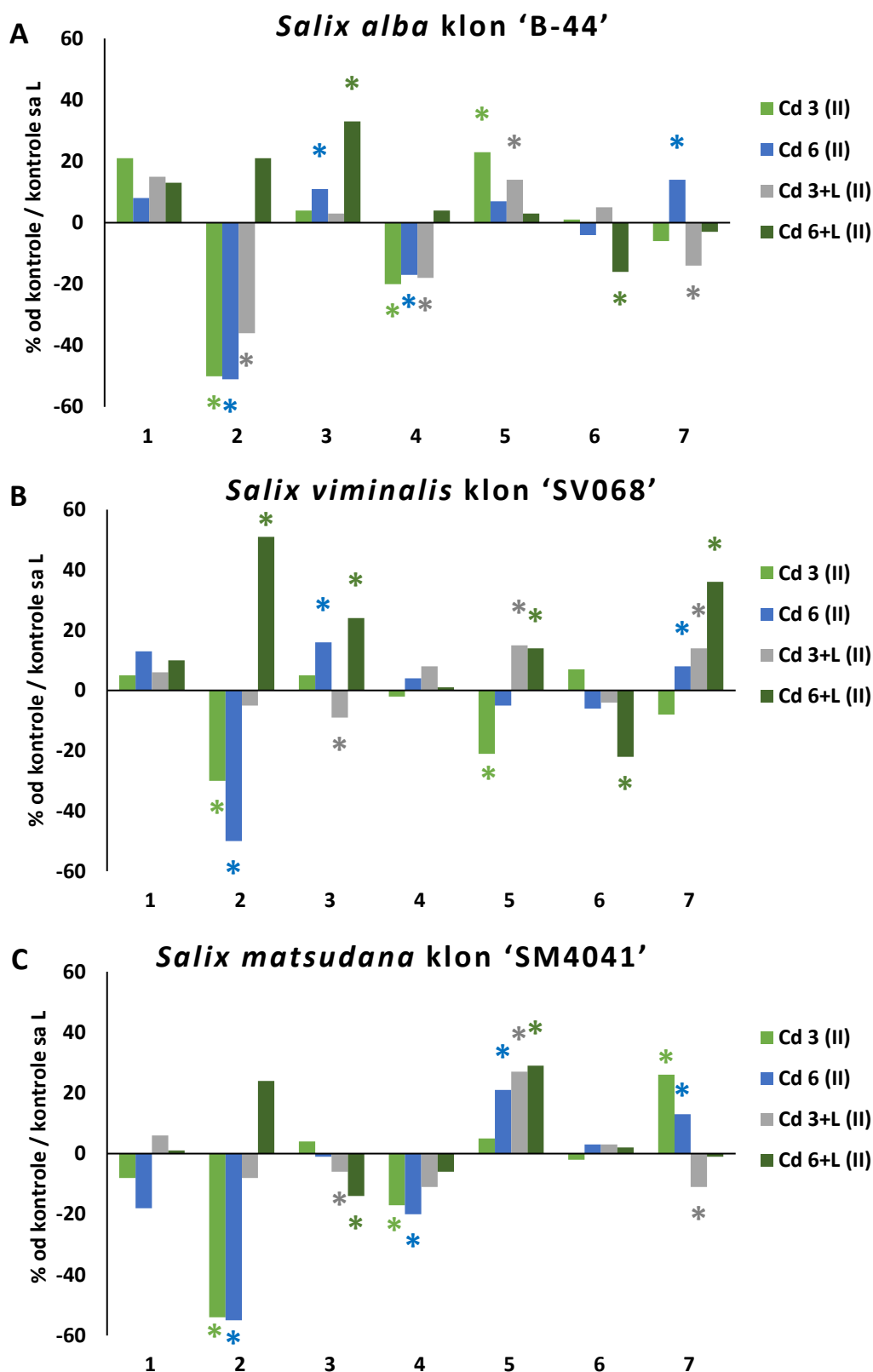
Pod uticajem Cd 3 i Cd 3+L, Vv sekundarnog floema je značajno veća od kontrole tj. kontrole sa limunskom kiselinom. U prisustvu Cd 6+L, Vv ksilema je značajno manja od kontrole. Tretman Cd 6 doveo do značajnog povećanja Vv srži u odnosu na kontrolu, ali je Cd 3+L je uzrokovao značajno manju Vv srži, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (Slika 43A., Tabele P61. i P62.).

Kod klona 'SV068', pri tretmanima Cd 3 i Cd 6 statistički značajno su manje Vv intercelulara primarne kore izbojaka u odnosu na kontrolne uzorke, ali se zapaža signifikantno povećanje Vv intercelulara pri tretmanu Cd 6+L. Volumenska gustina sekundarnog floema je značajno manja u prisustvu Cd 3; tretman Cd 6 je uzrokovao značajno veće Vv primarnog floema i Vv srži izbojaka u odnosu na kontrolu. Tretmani Cd 3+L i Cd 6+L imali su suprotan uticaj na Vv primarnog floema, u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom.

Zapaža se pozitivan uticaj Cd 3+L i Cd 6+L na Vv sekundarnog floema i Vv srži, koji su značajno veće od kontrole. Samo pri tretman Cd 6+L došlo je do značajnog smanjenja Vv ksilema (primarnog + sekundarnog) u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (Slika 43B., Tabele P63. i P64.).

U drugoj fazi uzorkovanja, parametri izbojaka klona 'SM4041' koji su bili najosjetljiviji na negativno dejstvo kadmijuma, prije svega obuhvataju Vv intercelulara primarne kore i Vv sklerenhima, koje su statistički značajno manje u prisustvu Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom. Pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L, Vv primarnog floema je statistički značajno manja od kontrole sa limunskom kiselinom.

Kod ovog klona zapaža se značajno povećanje Vv sekundarnog floema od kontrolnog uzorka u prisustvu Cd 6, Cd 3+L i Cd 6+L. Takođe, tretmani Cd 3 i Cd 6 uzrokovali su statistički značajnog povećanje Vv srži, kada se upoređi sa kontrolnim uzorkom izbojaka. Na Vv srži, tretman Cd 3+L imao je značajno negativno dejstvo u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (Slika 43C., Tabele P65. i P66.).



Slika 43. Promjene volumenskih gustina (V_v) tkiva izbojaka klonova *Salix* spp. (II uzorak) pod uticajem tretmana: Cd 3, Cd 6, Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa odgovarajućom kontrolom (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi). 1 - V_v epidermisa, 2 - V_v intercelulara primarne kore, 3 - V_v primarnog floema, 4 - V_v sklerenhima, 5 - V_v sekundarnog floema, 6 - V_v ksilema (primarni + sekundarni), 7 - V_v srži. t test ukazuje na statistički značajne razlike između tretiranih i kontrolnih uzoraka: (*) $p \leq 0,05$.

Kao najosjetljiviji parametar izbojka klon 'B-44', na dejstvo svih primjenjenih tretmana Cd sa i bez dodatka limunske kiseline u trećoj fazi uzorkovanja, pokazala se Vv epidermisa, značajno smanjena u odnosu na odgovarajuću kontrolu. Volumenska gustina primarnog floema, s druge strane, značajno je veća od kontrolnog uzorka pri tretmanima Cd 3, Cd 6, Cd 3+L i Cd 6+L.

Od ostalih statistički značajnih razlika parametara izbojaka ovog genotipa od kontrole, zapaža se samo signifikantno povećanje Vv intercelulara primarne kore i Vv sklerenhima u prisustvu Cd 3 i Cd 6. Od dva tretmana Cd sa limunskom kiselinom, samo je Cd 3+L imao značajan negativan efekat na Vv intercelulara primarne kore, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom. Tretmani Cd 3 i Cd 3+L uzrokovali su značajno smanjenje Vv srži u poređenju sa odgovarajućom kontrolom (Slika 44A., Tabele P67. i P68.).

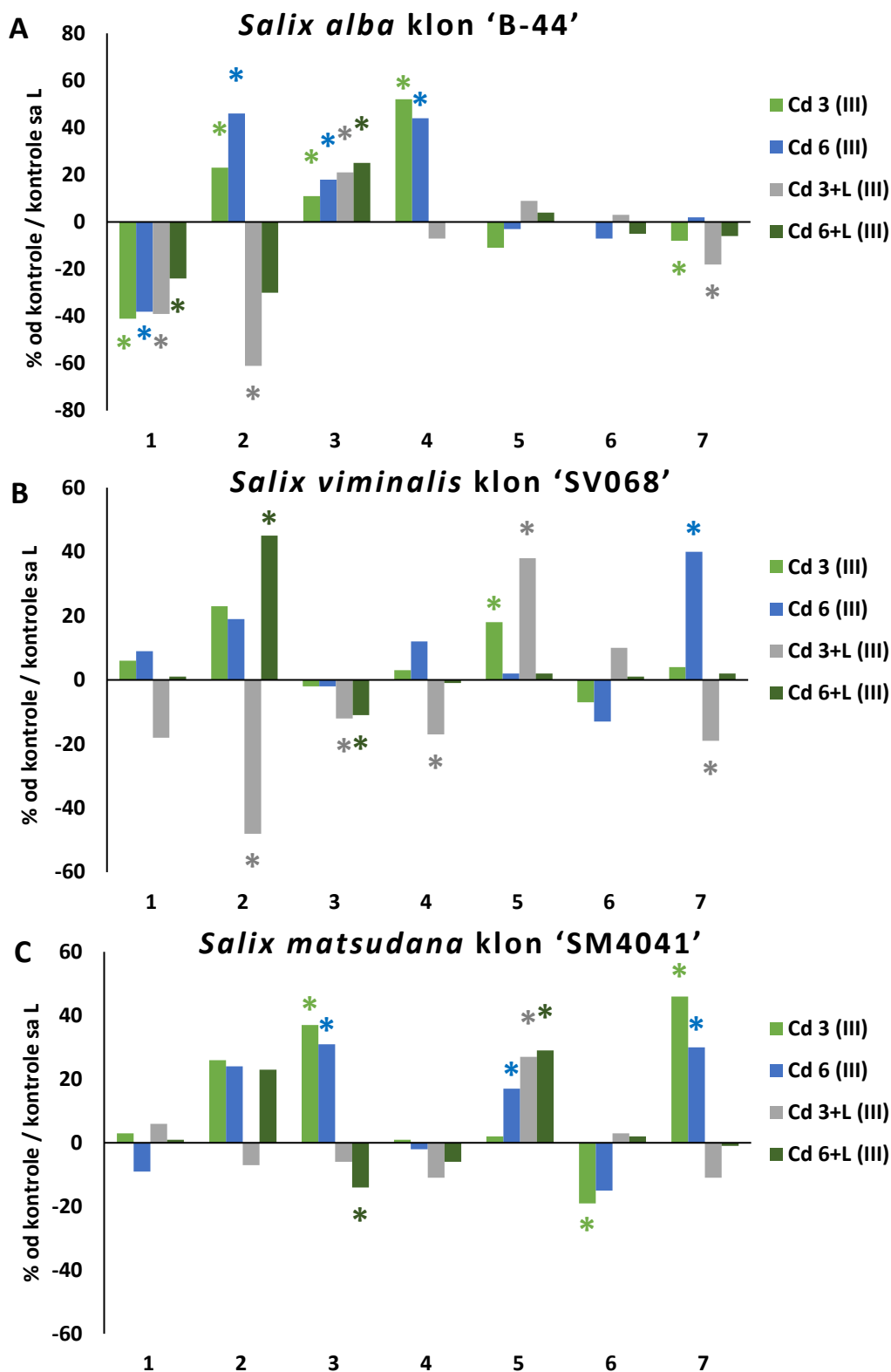
Kod klon 'SV068', u trećoj fazi eksperimenta zapaža se značajno povećanje Vv sekundarnog floema izbojka u prisustvu Cd 3, u poređenju sa kontrolom. Tretman Cd 6 je doveo do signifikantnog porasta Vv srži u odnosu na kontrolu.

Tretmani Cd sa limunskom kiselinom su uzrokovali brojnije značajne razlike Vv tkiva izbojaka klon 'SV068' u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom. Volumenska gustina intercelulara primarne kore je značajno smanjena pri tretmanu Cd 3+L, ali značajno veća pri Cd 6+L, u odnosu na kontrolni uzorak sa limunskom kiselinom. Zapaža se malo, ali signifikantno smanjenje Vv primarnog floema u prisustvu tretmana Cd 3+L i Cd 6+L, u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom. Dalje, tretman Cd 3+L je uzrokovao značajno smanjenje Vv sklerenhima i Vv srži i značajno veću Vv sekundarnog floema u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (Slika 44B., Tabele P69. i P70.).

Volumenske gustine primarnog floema i srži izbojaka klon 'SM4041', u trećoj fazi uzorkovanja su značajno povećane u prisustvu Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom. Od dva tretmana Cd sa limunskom kiselinom, samo je Cd 6+L uzrokovao značajno manju Vv primarnog floema u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom.

Značajno manja Vv ksilema (primarnog + sekundarnog) u odnosu na kontrolu pokazala se kao osjetljiv parametar na tretman Cd 3, u odnosu na kontrolu. Volumenska gustina sekundarnog floema značajno je veća od kontrole u prisustvu Cd 6. Statistički značajno veće vrijednosti Vv sekundarnog floema zapažene su i pri tretmanima Cd 3+L i Cd 6+L, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (Slika 44C., Tabele P71. i P72.).

Značajne razlike između primjenjenih tretmana Cd bez limunske kiseline i Cd u prisustvu limunske kiseline zapažene su za većinu Vv tkiva klonova vrba (Tabela 30.). Dobijeni podaci ukazuju da kod klon 'B-44' u drugoj fazi uzorkovanja postoje značajne razlike između uticaja tretmana Cd 6 i Cd 6+L na sve Vv tkiva izbojaka. Kod klon 'SV068' značajne razlike su ustanovljene između uticaja tretmana Cd 3 i Cd 3+L na sve Vv tkiva izbojaka u trećoj fazi uzorkovanja i između Cd 6 i Cd 6+L na sve parametre u drugoj fazi uzorkovanja. Što se tiče klon 'SM4041' značajne razlike uticaja primjenjenih tretmana na sve Vv tkiva izbojaka ustanovljene su između tretmana Cd 3 i Cd 3+L u drugoj i trećoj fazi uzorkovanja i između tretmana Cd 6 i Cd 6+L u prvoj fazi uzorkovanja.



Slika 44. Promjene volumenskih gustina (V_v) tkiva izbojaka klonova *Salix* spp (III uzorak) pod uticajem tretmana: Cd 3, Cd 6, Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa odgovarajućom kontrolom (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi). 1 - V_v epidermisa, 2 - V_v intercelulara primarne kore, 3 - V_v primarnog floema, 4 - V_v sklerenhima, 5 V_v - sekundarnog floema, 6 - V_v ksilema (primarni + sekundarni), 7 - V_v srži. t test ukazuje na statistički značajne razlike između tretiranih i kontrolnih uzoraka: (*) $p \leq 0,05$.

Tabela 30. Značajnost promjena volumenskih gustina izbojaka klonova *Salix* spp. tretiranih Cd (Cd 3 i Cd 6) i Cd u prisustvu limunske kiseline (Cd 3+L i Cd 6+L) tokom tri uzorkovanja (I, II i III)

Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojaka	klon <i>Salix</i> spp.																		
	'B-44'						'SV068'						'SM4041'						
	I		II		III		I		II		III		I		II		III		
	A ⁺	B ⁺⁺	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
Vv epidermisa	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	ns	*	**	**	ns	**	**	**	*	**
Vv intercelulara primarne kore	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns
Vv primarnog floema	**	ns	ns	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Vv sklerenhima	**	**	ns	**	**	**	**	ns	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Vv sekundarnog floema	ns	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	**	**	**	**	*	ns	**	**	**	**	**	**	**	ns	*	**	ns	**	**
Vv srži	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

A⁺ - poređenje Cd 3: Cd 3+L; B⁺⁺ - poređenje Cd 6: Cd 6+L; t test značajnosti, ns - nije značajno, * - p ≤ 0,05 i ** - p ≤ 0,01.

5.1.12. Anatomske karakteristike liske i lisne drške klonova vrba

U anatomskom pogledu liska analiziranih klonova *Salix* spp. je dorziventralne građe (Slike 45. i 46.). Pokorično tkivo lista sastoji se od jednoslojnog adaksijalnog i jednoslojnog abaksijalnog epidermisa. Hlorenhim liske izdiferenciran je na palisadno i sunderasto tkivo. Palisadno tkivo je kompaktno, dvoslojno. Sunderasto tkivo građeno je od 2-3 rastresita sloja ćelija, u nekim su prisutne kristalne druze. U regionu centralnog nerva nalaze se dva naspramno postavljena bikolateralna provodna snopića. Ksilem ima lučni oblik. Uz ksilem i floem snopića centralnog nerva prisutan je sklerifikovani parenhim koji je jače razvijen uz floemski dio snopića. Subepidermalno, u zoni glavnog nerva prisutno je više slojeva kolenhima adaksijalno, dok su abaksijalno, najčešće u bazalnom dijelu liske, prisutna 1-2 sloja ćelija kolenhima. U parenhimu regiona centralnog nerva prisutne su kristalne druze i prizmatični kristali.

Lisna drška analiziranih genotipova vrba (Slika 47.). može da ima različit oblik: okrugao, ovalan ili trouglast koji se može označiti i kao plankonveksan (kada se pogleda veći broj preparata; Slika 47D.-F.). Na nekim presjecima lisne drške kod klona 'SM4041' se uočavaju slabo naglašena rebra (Slika 47H). U anatomskoj građi lisnih drški tri klona *Salix* spp. razlikuju se jednoslojni epidermis, kolenhim subepidermalnog položaja i parenhim sa kristalima u obliku druzi. Kolenhim je po histološkom tipu anularni (Slika 48.), sa 3-4 sloja ćelija. Parenhimske ćelije su krupnije prema centralnom dijelu lisne drške. U parenhimu su prisutni intercelulari. Vaskularno tkivo lisne drške čine dva naspramno postavljena bikolateralna provodna snopića u centralnom dijelu. Traheje su grupisane u mnogobrojnim radijalnim nizovima, sastavljenim od 3 do 4 elementa.

Poprečni presjek liske na 1/4 širine i u regionu centralnog nerva klonova vrba koji su gajeni u prisustvu limunske kiseline prikazan je u Prilogu (Slike P26.-P27.)

Slika 45. Poprečni presjek liske tri klona *Salix* spp., u regionu glavnog nerva (kontrolne biljke):

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’.

Oznake:

A, D, G – bazalni segment liske

B, E, H – srednji segment liske

C, F, I – vršni segment liske

ade – adaksijalni epidermis

abe – abaksijalni epidermis

fl – floem

kd – kristalna druzna

kol – kolenhim

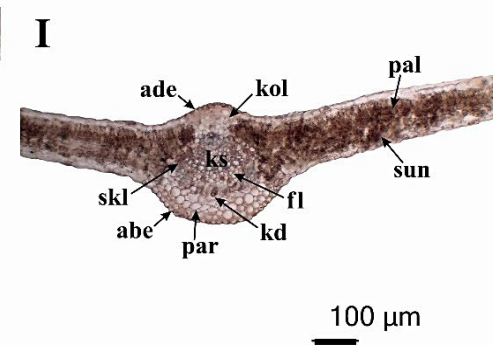
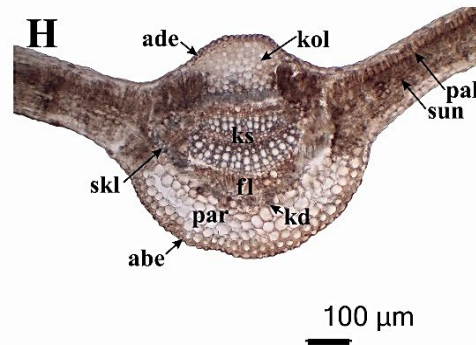
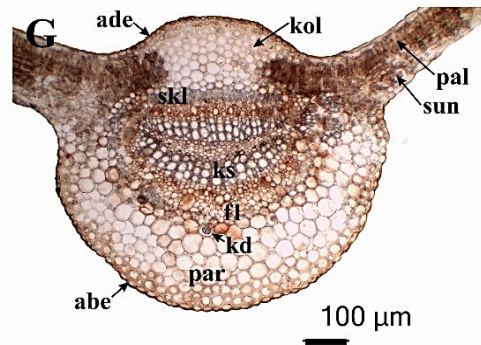
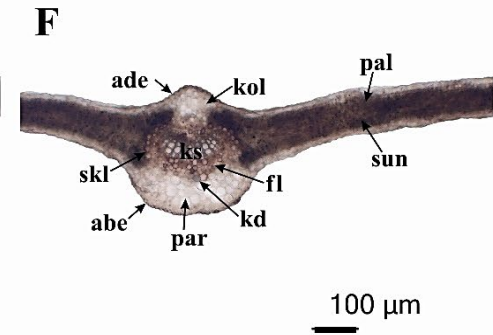
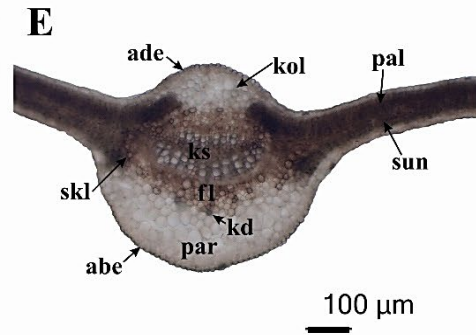
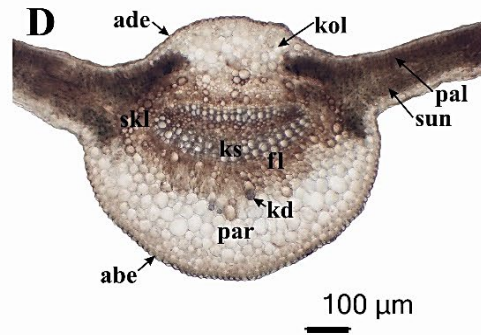
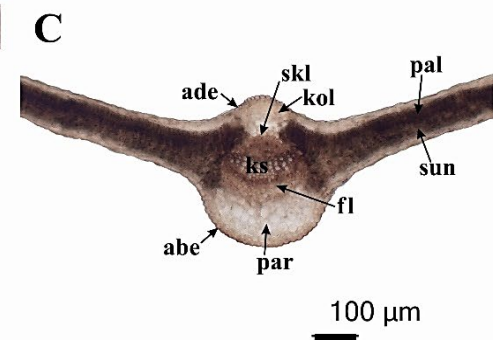
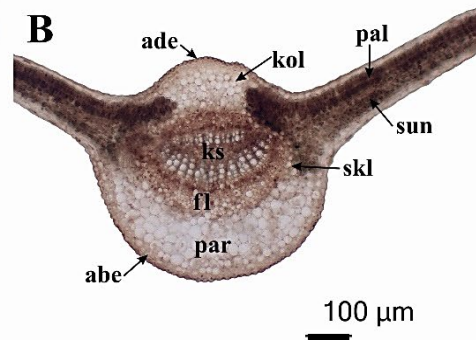
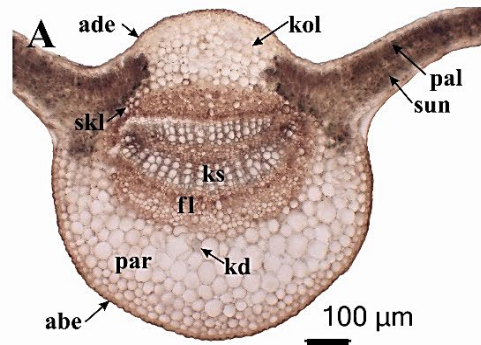
ks – ksilem

pal – palisadno tkivo

par – parenhim

skl – sklerifikovani parenhim

sun – sunderasto tkivo



Slika 46. Poprečni presjek liske tri klona *Salix spp.*, u regionu $\frac{1}{4}$ širine (kontrolne biljke):

A–C - *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F - *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I - *Salix matsudana* klon ‘SM4041’.

Oznake:

A, D, G - bazalni segment liske

B, E, H - srednji segment liske

C, F, I - vršni segment liske

ade - adaksijalni epidermis

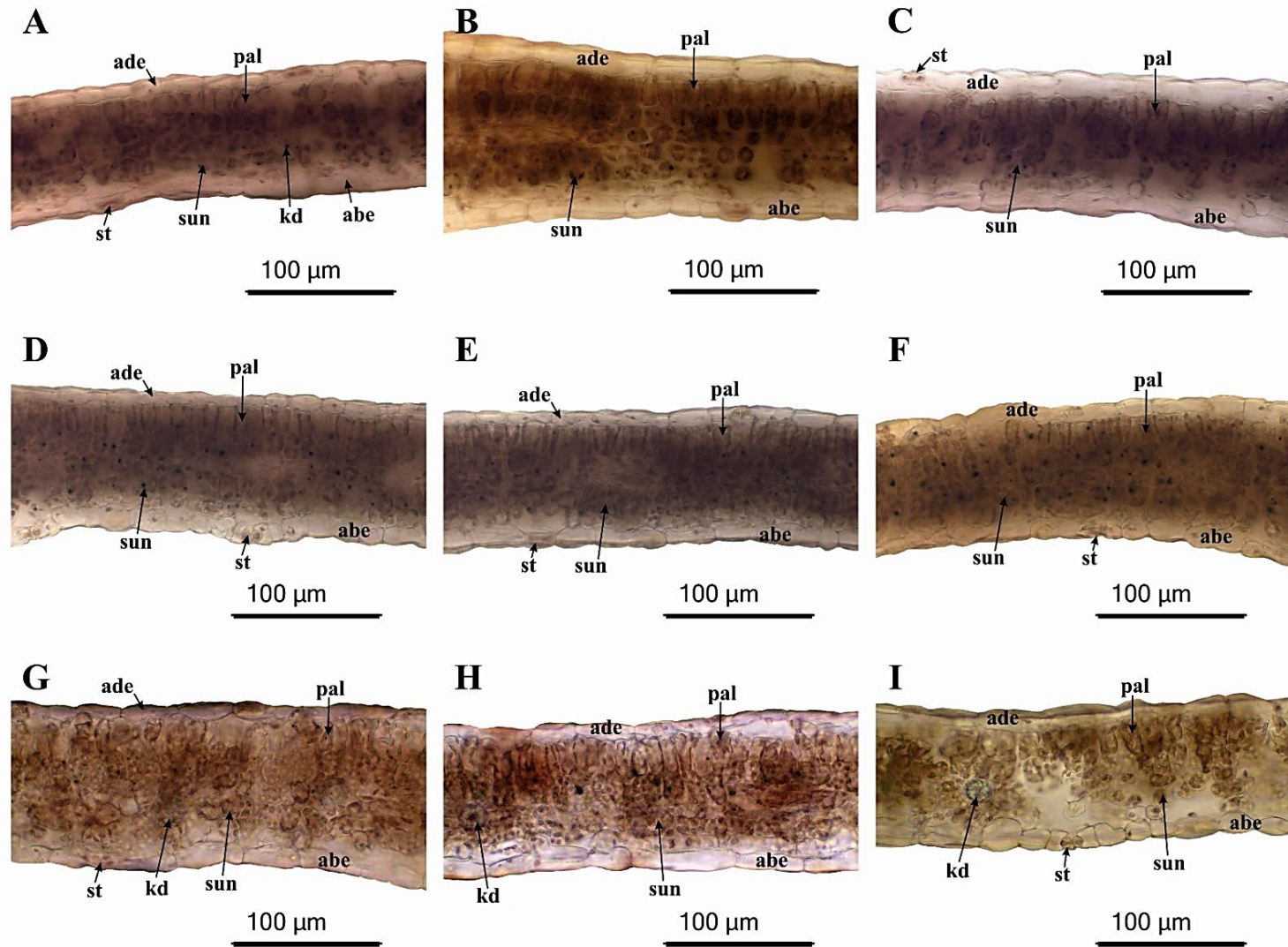
abe - abaksijalni epidermis,

d - kristalna druzna

pal - palisadno tkivo

st - stoma

sun - sunđerasto tkivo



Slika 47. Poprečni presjek lisne drške tri klona *Salix* spp. (kontrolne biljke):

A–C - *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F - *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I - *Salix matsudana* klon ‘SM4041’.

Oznake:

ep - epidermis

fl - floem

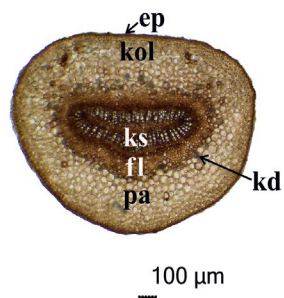
kd - kristalna druzna

kol - kolenhim

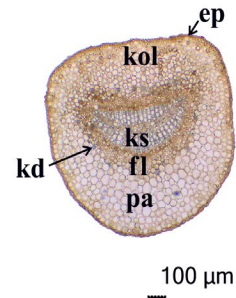
ks - ksilem

pa - parenhim

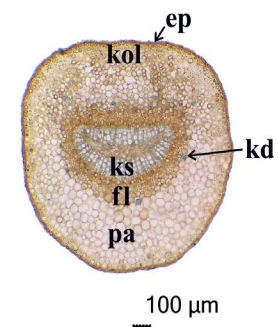
A



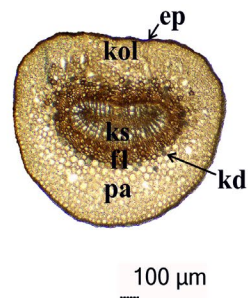
B



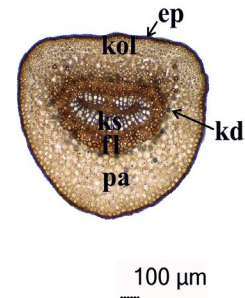
C



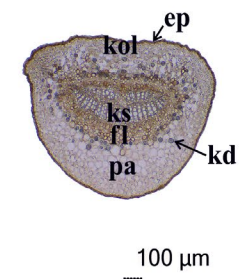
D



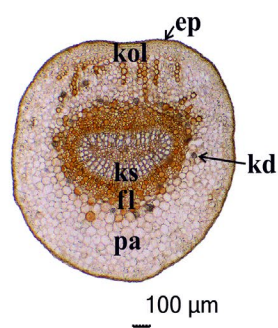
E



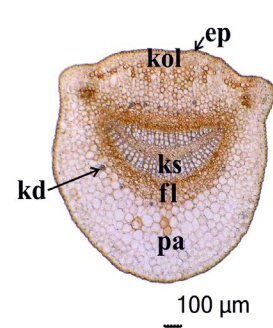
F



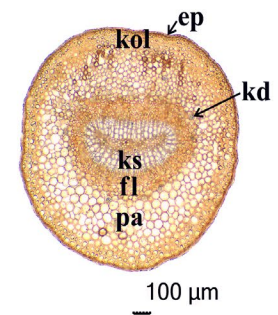
G

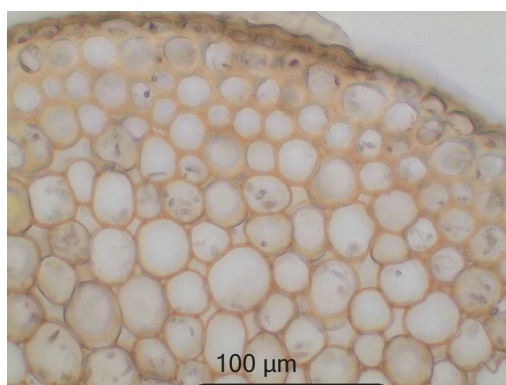


H



I





Slika 48. Anularni kolenhim u lisnoj dršci klona 'B-44'.

Analizom anatomskih karaktera liske klonova vrba (kontrolne biljke), utvrđeno je da se klon 'SM4041' karakteriše statistički značajno najvećom površinom i debljinom liske na ¼ širine (Tabela 31.). Ovaj klon se od preostala dva genotipa razlikuje najvećom: debljinom adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa; debljinom palisadnog i sunderastog tkiva i površinama ćelija ovih tkiva na poprečnom presjeku. Po procentualnom učešću pojedinih tkiva klonovi se ne razlikuju značajno. Debljina liske na glavnom nervu značajno odstupa kod klona 'SM4041', što je posljedica najveće površine glavnog nerva i površine floema njegovog snopića. Izuzev debljine liske na glavnom nervu, klonovi 'B-44' i 'SV068' su imali veoma slične vrijednosti ostalih anatomskih karaktera liske između kojih nisu utvrđene statistički značajne razlike.

Tabela 31. Anatomske karakteristike liske klonova *Salix* spp. (kontrolni uzorak): srednja vrijednost ± standardna greška (koeficijent varijacije, %).

Anatomski parametri liske	klon <i>Salix</i> spp.		
	'B-44'	'SV068'	'SM4041'
P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	30,8 ± 6,89 (50,1) b*	35,6 ± 7,96 (50,1) b	46,9 ± 10,5 (50,1) a
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	136 ± 3,30 (21,0) b	157 ± 3,81 (21,0) b	208 ± 5,04 (21,0) a
Debljina liske na glavnom nervu (μm)	580 ± 25,6 (65,5) c	669 ± 7,56 (25,3) b	884 ± 90,9 (25,3) a
Debljina adaksijalnog epidermisa (μm)	16,8 ± 0,36 (18,4) b	19,4 ± 0,41 (18,4) b	25,7 ± 0,55 (18,4) a
% Debljine adaksijalnog epidermisa	12,6 ± 0,25 (17,3) a	13,0 ± 0,30 (17,0) a	13,5 ± 0,45 (19,3) a
P ćelija adaksijalnog epidermisa (μm^2)	362 ± 20,0 (47,8) b	418 ± 23,1 (47,8) b	553 ± 30,5 (47,8) a
Debljina abaksijalnog epidermisa (μm)	16,2 ± 0,38 (20,5) b	18,7 ± 0,44 (20,5) b	24,7 ± 0,58 (20,5) a
% Debljine abaksijalnog epidermisa	12,0 ± 0,21 (15,4) a	12,3 ± 0,23 (16,0) a	12,6 ± 0,31 (16,4) a
P ćelija abaksijalnog epidermisa (μm^2)	302 ± 15,9 (45,5) b	349 ± 18,3 (45,5) b	462 ± 24,2 (45,5) a
Debljina palisadnog tkiva (μm)	43,6 ± 1,25 (24,9) b	50,3 ± 1,45 (24,9) b	66,5 ± 1,91 (24,9) a
% Debljine palisadnog tkiva	32,0 ± 0,50 (13,6) a	33,2 ± 0,55 (15,1) a	33,6 ± 0,60 (15,6) a
P ćelija palisadnog tkiva (μm^2)	268 ± 16,2 (52,3) b	309 ± 18,7 (52,3) ab	409 ± 24,7 (52,3) a
Dužina ćelija palisadnog tkiva (μm)	23,2 ± 0,69 (25,7) b	26,8 ± 0,80 (25,7) b	35,5 ± 1,05 (25,7) a
Širina ćelija palisadnog tkiva (μm)	13,3 ± 0,43 (27,8) b	15,3 ± 0,49 (27,8) b	20,2 ± 0,65 (27,8) a
Indeks palisadnih ćelija	1,78 ± 0,04 (17,2) a	1,81 ± 0,06 (17,7) a	1,79 ± 0,05 (17,5) a
Debljina sunderastog tkiva (μm)	51,5 ± 1,63 (27,1) b	59,4 ± 1,88 (28,3) b	78,6 ± 2,49 (27,4) a
% Debljine sunderastog tkiva	37,6 ± 0,65 (15,0) a	38,4 ± 0,68 (15,8) a	38,6 ± 0,71 (16,0) a
P ćelija sunderastog tkiva (μm^2)	199 ± 13,6 (59,3) b	230 ± 15,7 (59,3) b	303 ± 20,8 (59,3) a
P glavnog nerva ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	21,1 ± 4,72 (50,0) b	24,4 ± 5,44 (50,0) ab	32,2 ± 7,19 (50,0) a
P ksilema u glavnom nervu ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	3,03 ± 0,51 (60,3) a	3,50 ± 0,60 (65,2) a	4,63 ± 0,78 (65,7) a
% P ksilema glavnog nerva	13,2 ± 1,44 (24,4) a	13,2 ± 1,45 (24,4) a	13,0 ± 1,50 (24,0) a
P floema u glavnom nervu ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	2,55 ± 0,27 (40,6) b	2,95 ± 0,31 (40,6) ab	3,90 ± 0,41 (40,6) a
% P floema glavnog nerva	12,3 ± 0,60 (12,0) a	12,3 ± 0,64 (11,6) a	12,0 ± 0,60 (11,5) a
P sklerenhima glavnog nerva ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	1,13 ± 0,23 (79,4) a	1,31 ± 0,27 (79,3) a	1,72 ± 0,35 (79,3) a
% P sklerenhima glavnog nerva	4,86 ± 0,72 (33,0) a	5,00 ± 0,70 (33,2) a	4,90 ± 0,70 (33,0) a
P kolenhima+parenhima glavnog nerva ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	14,4 ± 2,91 (45,2) b	16,6 ± 3,36 (45,2) b	21,9 ± 4,44 (45,2) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	70,0 ± 2,00 (6,22) a	69,6 ± 1,94 (6,22) a	69,6 ± 1,90 (6,20) a

* Različito malo slovo ukazuje na statistički značajne razlike između analiziranih klonova, prema Duncan-ovom testu ($p \leq 0,05$). P – površina.

5.1.12.1. Analiza osnovnih komponenti anatomskih parametara liske

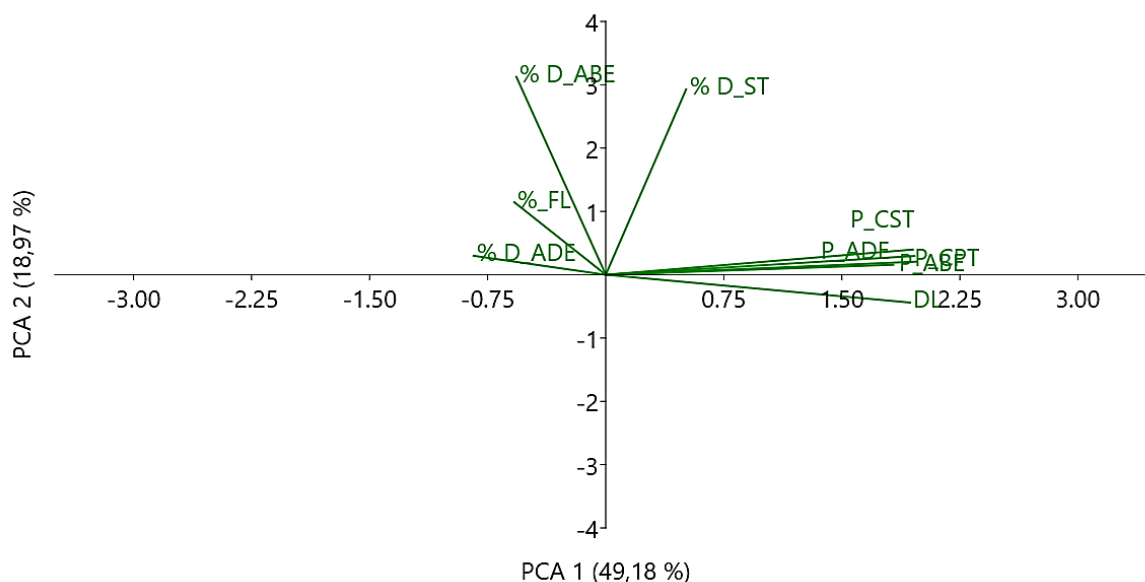
Analiza osnovnih komponenti pokazala je među anatomskim karakteristikama liske (kontrolni uzorak), debljina liske na 1/4 širine i površine ćelija adaksijalnog epidermisa, abaksijalnog epidermisa, sunderastog i palisadnog tkiva razlikuju po tipu varijabilnosti i jasno se izdvajaju i grupišu na prvoj osi. Prva osnovna komponenta objašnjava 49,18 % od ukupne varijacije analiziranih karaktera liske (Tabela 32., Slika 49.).

Tabela 32. Prikaz kvantitativnih karaktera liske od značaja za varijabilnost tri klona *Salix* spp. (kontrolni uzorak)

Karakteristi liske	PCA 1	PCA 2	PCA 3
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	-0,9088	0,2392	0,0324
% Debljine adaksijalnog epidermisa	0,1026	-0,5915	-0,7615
P ćelija adaksijalnog epidermisa (μm^2)	-0,8346	-0,2381	-0,3235
% Debljine abaksijalnog epidermisa	0,0339	-0,9445	0,1027
P ćelija abaksijalnog epidermisa (μm^2)	-0,9506	-0,0830	-0,0160
P ćelija palisadnog tkiva (μm^2)	-0,9175	-0,1064	0,1486
% Debljine sunderastog tkiva	-0,0181	-0,5094	0,7197
P ćelija sunderastog tkiva (μm^2)	-0,9213	-0,0736	0,1405
% Površine floema snopića glavnog nerva	0,5450	-0,2610	0,1793
Sopstvene vrijednosti	4,4259	1,7072	1,2883
% Varijanse	0,4918	0,1897	0,1431

*Istaknute su vrijednosti za nivo značajnosti $> 0,7000$. P – površina.

Druga osnovna komponenta je obuhvatila 18,97 % varijacije. Procenat debljine abaksijalnog epidermisa je jedini anatomski karakter koji doprinosi ovoj osi. Daljem razdvajanju karaktera na trećoj osi doprinosi procenat debljine adaksijalnog epidermisa i procenat debljine sunderastog tkiva, sa 14,31 %.



Slika 49. Grafički prikaz varijabilnosti anatomskih karaktera liske tri klona *Salix* spp. (kontrolni uzorak) dobijen na osnovu PCA metode. DL - debljina liske na 1/4 širine (μm), % D_ADE – procenat debljine adaksijalnog epidermisa, P_ADE - površina poprečnog presjeka ćelija adaksijalnog epidermisa (μm^2), % D_ABE - procenat debljine abaksijalnog epidermisa, P_ABE - površina poprečnog presjeka ćelija abaksijalnog epidermisa (μm^2), P_CPT - površina poprečnog presjeka ćelija palisadnog tkiva (μm^2), % D_ST - procenat debljine sunderastog tkiva, P_CST - površina poprečnog presjeka ćelija sunderastog tkiva (μm^2), % FL - procenat površine floema snopića glavnog nerva.

5.1.12.2. Diskriminantna analiza anatomskih karaktera liske

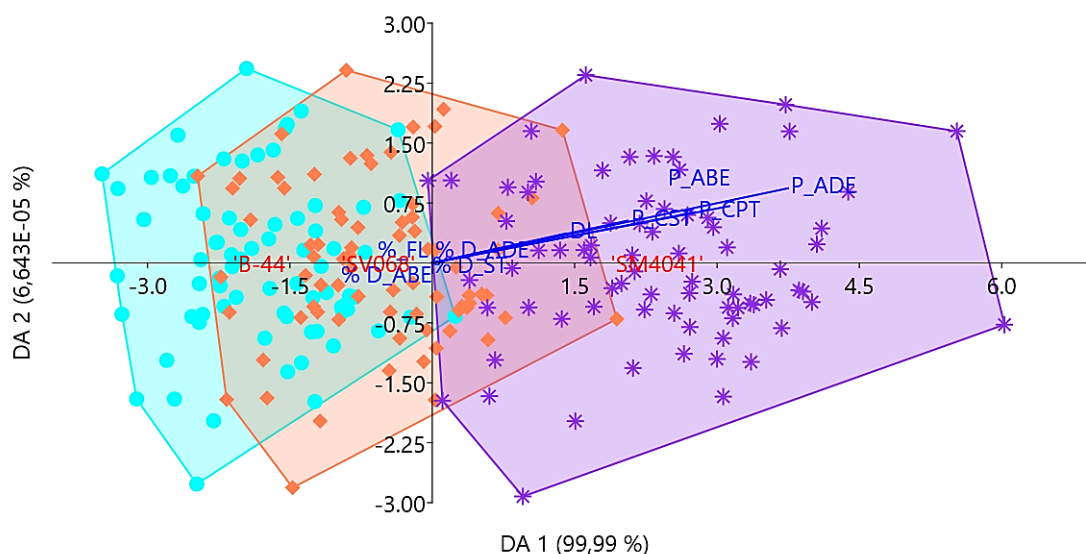
Diskriminantnom analizom kvantitativnih anatomskih karaktera liske, sprovedenom na nivou tri klona *Salix* spp. (kontrolni uzorak), utvrđeno je da analizirani karakteri liske ne doprinose jasnoj diskriminaciji između vrsta.

Tabela 33. Diskriminantna analiza odabranih kvantitativnih anatomskih karaktera liske tri klona *Salix* spp. (kontrolni uzorak) i nivou opterećenja prve dvije diskriminantne ose

Parametri liske	DA 1	DA 2
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	-4,6242	-0,0016
% Debljine adaksijalnog epidermisa	-0,4771	-0,1472
P ćelija adaksijalnog epidermisa (μm^2)	-0,2893	0,0010
% Debljine abaksijalnog epidermisa	-0,8880	0,5941
P ćelija abaksijalnog epidermisa (μm^2)	1,5604	-0,0009
P ćelija palisadnog tkiva (μm^2)	-0,3198	0,0003
% Debljine sunderastog tkiva	-0,4533	-0,0358
P ćelija sunderastog tkiva (μm^2)	2,6667	0,0005
% P floema snopića glavnog nerva	-1,1079	-0,4431
Sopstvene vrijednosti	3,0967	$2,0571 \cdot 10^{-5}$
Kumulativni procenat	0,9999	$6,643 \cdot 10^{-5}$

*Istaknute su vrijednosti za nivo značajnosti $> 0,7000$. P – površina.

Na prvoj osi zapaža se veći broj statistički značajnih karaktera koji grupišu klonove, ali ne doprinose jasnoj diskriminaciji genotipova. Druga osa definiše vrlo mali procenat diskriminacije uzorka, a na njoj se kao statistički značajni karakter izdvaja samo procenat debljine abaksijalnog epidermisa. Međutim, ovaj karakter ne doprinosi razdvajanju genotipova (Tabela 33.; Slika 50.).



Slika 50. Diskriminantna analiza (DA): Grafički prikaz grupisanja tri klona *Salix* spp. (kontrolni uzorak) na osnovu anatomskih karaktera liske. DL - debljina liske na 1/4 širine (μm), DL_GN - debljina liske na glavnom nervu (μm), % D_ADE – procenat debljine adaksijalnog epidermisa, P_ADE - površina ćelija adaksijalnog epidermisa (μm^2), % D_ABE - procenat debljine abaksijalnog epidermisa, D_ABE - površina ćelija abaksijalnog epidermisa (μm^2), P_CPT - površina ćelija palisadnog tkiva (μm^2), % D_ST - procenat debljine sunderastog tkiva, P_CST - površina ćelija sunderastog tkiva (μm^2), % FL - procenat površine floema snopića glavnog nerva.

5.1.13. Uticaj kadmijuma na anatomske karaktere liske tri klona *Salix* spp.

Trofaktorijalna analiza varijanse je pokazala stepen uticaja nezavisnih faktora klona ('B-44', 'SV068' i 'SM4041'), tretmana (Cd 3, Cd 6, Cd 3+L i Cd 6+L) i tri faze uzorkovanja (juni, avgust i septembar) i njihovih interakcija na anatomske karaktere liske klonova vrba (Tabela P73.). Poprečni presjek liski tri klona vrba gajenih u prisustvu Cd 3 i Cd 6 prikazan je u Prilogu (Slike P28-P31.).

Rezultati analize uticaja Cd na tri uzorka liske istraženih klonova vrba predstavljeni su na slikama 51-53. i u tabelama P74-P82.

U prvom uzorku liske, nakon tretmana sa Cd 3 i Cd 6 kod analiziranih klonova se zapažaju slične promjene anatomskih parametara u odnosu na kontrolni uzorak.

Kod klona 'B-44' analiza liske iz prvog uzorkovanja (Slika 51A., tabela P74.) pokazuje da su se statistički značajne razlike između kontrolnih i biljaka pod tretmanima Cd ispoljile u vidu smanjenja većine anatomskih karaktera. Statistički značajno manje vrijednosti pod uticajem Cd 3 i Cd 6 su zabilježene za debljinu liske na 1/4 širine i površine ćelija adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa. U odnosu na kontrolu, hlorenhim se pokazao kao karakter osjetljiv na uticaj oba tretmana Cd, sa evidentnom redukcijom površine ćelija.

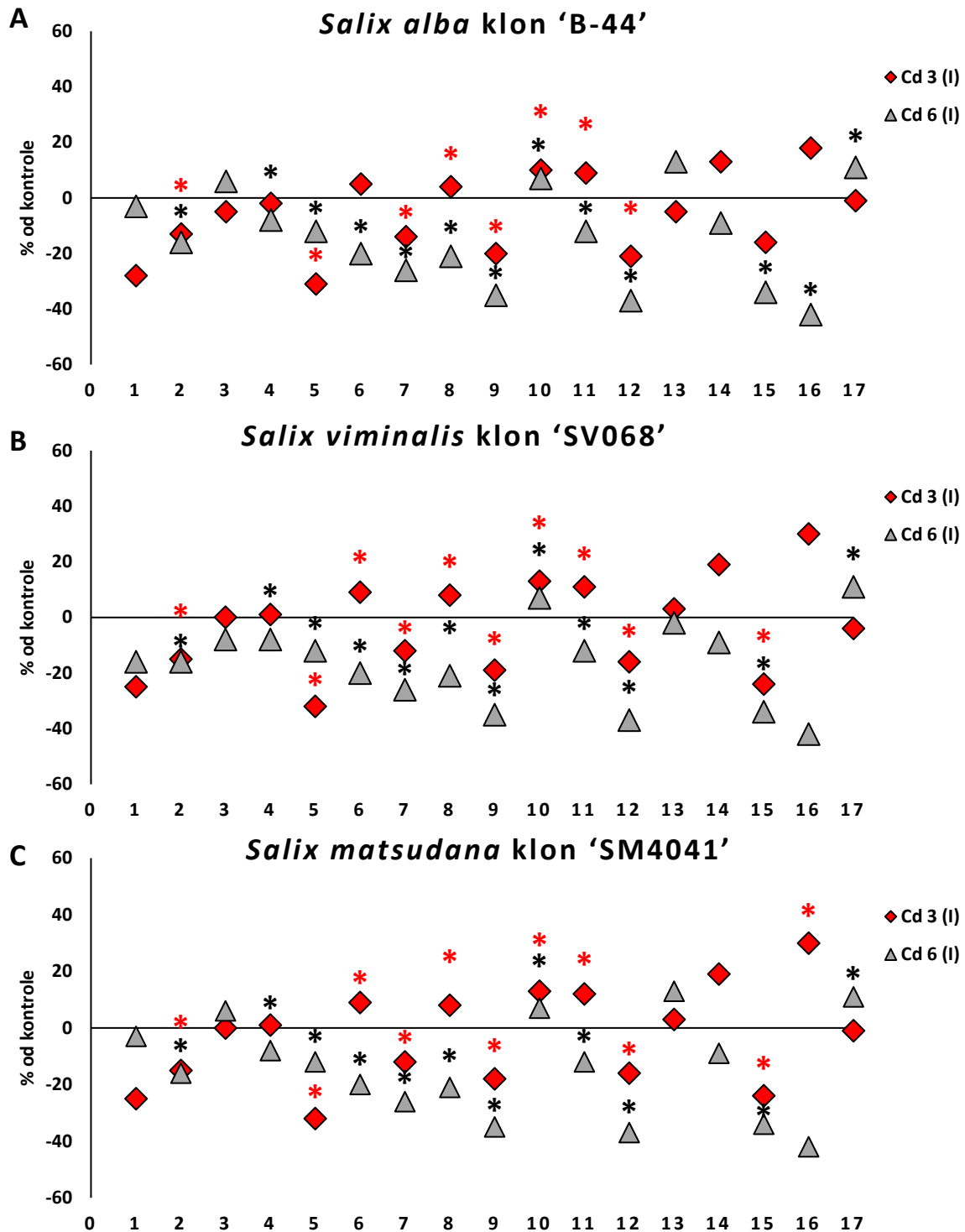
Kada se posmatraju procenti zastupljenosti pojedinih tkiva u anatomiji liske, tretman Cd 6 je imao izraženiji negativan uticaj, dovodeći do opadanja procenata debljine adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa. Kao rezultat primjene Cd 6, kod klona 'B-44' je došlo i do redukcije analiziranih karaktera glavnog nerva: procenata površine floema i sklerenhima. Na procenata debljine palisadnog i sunderastog tkiva dvije koncentracije Cd su imale suprotan efekat, Cd 3 uzrokujući porast, a Cd 6 opadanje ovih parametara. Indeks palisadnih ćelija je povećan nakon primjene oba tretmana Cd.

Promjene anatomskih karaktera u prvoj fazi uzorkovanja liske klona 'SV068' tretiranog sa Cd 3 i Cd 6 su takođe zabilježene u vidu njihove značajne redukcije u odnosu na kontrolu. Zapaženo je signifikantno smanjenje debljine liske na 1/4 širine, površine poprečnog presjeka ćelija adaksijalnog epidermisa, abaksijalnog epidermisa i hlorenhima i opadanje procenta floema u snopiću glavnog nerva (Slika 51B., Tabela P75.).

Od navedenih parametara, površine ćelija palisadnog i sunderastog tkiva i procenat floema glavnog nerva su karakteri osjetljiviji na negativni uticaj Cd 6. Tretman Cd 3 je doveo do porasta procenata debljine abaksijalnog epidermisa, palisadnog i sunderastog tkiva; tretman Cd 6 je imao suprotan, negativan efekat na ove parametre liske klona 'SV068'.

Anatomski karakteri u prvoj fazi uzorkovanja liske klona 'SM4041' gajenog pod uticajem Cd 3 i Cd 6 pokazali su iste promjene kao kod klonova 'B-44' i 'SV068', kada se porede sa kontrolom. Zapaža se statistički značajno smanjenje debljine liske na 1/4 širine, površine poprečnog presjeka ćelija adaksijalnog epidermisa, abaksijalnog epidermisa i hlorenhima i opadanje procenta floema u snopiću glavnog nerva (Slika 51C., Tabela P76.).

U odnosu na kontrolu, tretmani Cd su imali suprotan efekat na procenata debljine abaksijalnog epidermisa, palisadnog i sunderastog tkiva i procenat sklerenhima glavnog nerva: Cd 3 je uzrokovao njihovo povećanje a Cd 6 smanjenje.



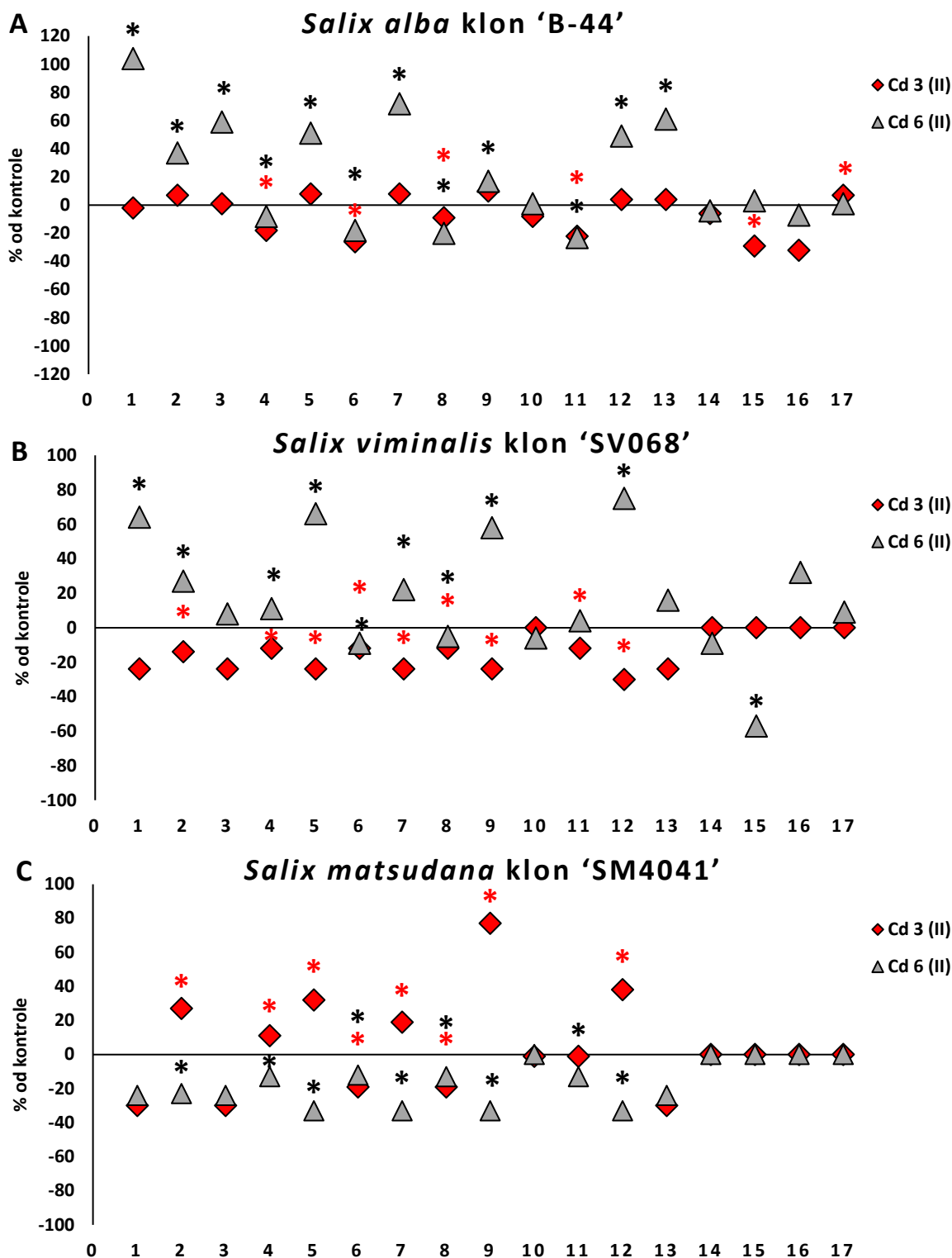
Slika 51. Promjene anatomskih karakterata liske tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (I uzorak). 1 - Površina liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$); 2 - Debljina liske na 1/4 širine (μm); 3 - Debljina liske na glavnom nervu (μm); 4 - Procenat debljine adaksijalnog epidermisa; 5 - Površina poprečnog presjeka ćelija adaksijalnog epidermisa (μm^2); 6 - Procenat debljine abaksijalnog epidermisa; 7 - Površina poprečnog presjeka ćelija abaksijalnog epidermisa (μm^2); 8 - Procenat debljine palisadnog tkiva; 9 - Površina poprečnog presjeka ćelija palisadnog tkiva (μm^2); 10 - Indeks palisadnih ćelija; 11 - Procenat debljine sunderastog tkiva; 12 - Površina poprečnog presjeka ćelija sunderastog tkiva (μm^2); 13 - Površina poprečnog presjeka glavnog nerva ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$); 14 - Procenat površine ksilema snopića glavnog nerva; 15 - Procenat površine floema snopića glavnog nerva; 16 - Procenat površine sklerenhima glavnog nerva; 17 - Procenat površine kolenhima+parenhima glavnog nerva. *t* test ukazuje na statistički značajne razlike između tretiranih i kontrolnih uzoraka: (*) $p \leq 0,05$.

U drugoj fazi uzorkovanja liske klona 'B-44' dva tretmana Cd uzrokovala su malo, ali statistički značajno opadanje procenata debljina adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa, palisadnog i sunđerastog tkiva (Slika 52A., Tabela P77.), u poređenju sa kontrolom. Izraženije je bilo stimulatívno dejstvo tretmana Cd 6 na mnoge analizirane karaktere: površinu liske i površinu glavnog nerva na poprečnom presjeku, debljinu liske na 1/4 širine i debljinu liske na glavnom nervu, površinu ćelija adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa i hlorenhima na poprečnom presjeku, u odnosu na kontrolu.

Kod klona 'SV068' u drugoj fazi uzorkovanja liske zapaža se statistički značajan uticaj tretmana Cd 3 i Cd 6 na debljinu liske na 1/4 širine, procenat debljine adaksijalnog epidermisa i površine ćelija: adaksijalnog epidermisa, abaksijalnog epidermisa i hlorenhima, u odnosu na kontrolu. Na navedene parametre Cd 3 je imao negativan uticaj. Nasuprot tome, signifikantan efekat Cd 6 na ove parametre se dovodi i u vezu sa povećanom površinom poprečnog presjeka liske.

Značajne razlike u odnosu na kontrolu nakon oba tretmana Cd zabilježene su u vidu malog, ali statistički značajnog smanjenja procenata debljine abaksijalnog epidermisa i palisadnog tkiva. U snopiću glavnog nerva je evidentno smanjenje procenta površine floema nakon tretmana Cd 6, kada se uporedi sa kontrolnim uzorkom (Slika 52B., Tabela P78).

U drugoj fazi uzorkovanja liske klona 'SM4041' nakon tretmana Cd 3 i Cd 6 došlo je do male, ali signifikantne redukcije procenata debljine abaksijalnog epidermisa i palisadnog tkiva u odnosu na kontrolu. Dvije koncentracije Cd su djelovale na iste parametre liske kao kod klona 'SV068': debljinu liske na 1/4 širine, procenat debljine adaksijalnog epidermisa, površine ćelija adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa i hlorenhima na poprečnom presjeku, u poređenju sa kontrolom. Ali, kod klona 'SM4041' Cd 3 je imao stimulatívni, a Cd 6 negativan efekat (Slika 52C., Tabela P79.).



Slika 52. Promjene anatomskih karakterata liske tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (II uzorak). 1 - Površina liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$); 2 - Debljina liske na 1/4 širine (μm); 3 - Debljina liske na glavnom nervu (μm); 4 - Procenat debljine adaksijalnog epidermisa; 5 - Površina poprečnog presjeka ćelija adaksijalnog epidermisa (μm^2); 6 - Procenat debljine abaksijalnog epidermisa; 7 - Površina poprečnog presjeka ćelija abaksijalnog epidermisa (μm^2); 8 - Procenat debljine palisadnog tkiva; 9 - Površina poprečnog presjeka ćelija palisadnog tkiva (μm^2); 10 - Indeks palisadnih ćelija; 11 - Procenat debljine sunderastog tkiva; 12 - Površina poprečnog presjeka ćelija sunderastog tkiva (μm^2); 13 - Površina poprečnog presjeka glavnog nerva ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$); 14 - Procenat površine ksilema snopića glavnog nerva; 15 - Procenat površine floema snopića glavnog nerva; 16 - Procenat površine sklerenhima glavnog nerva. (*): $p \leq 0,05$.

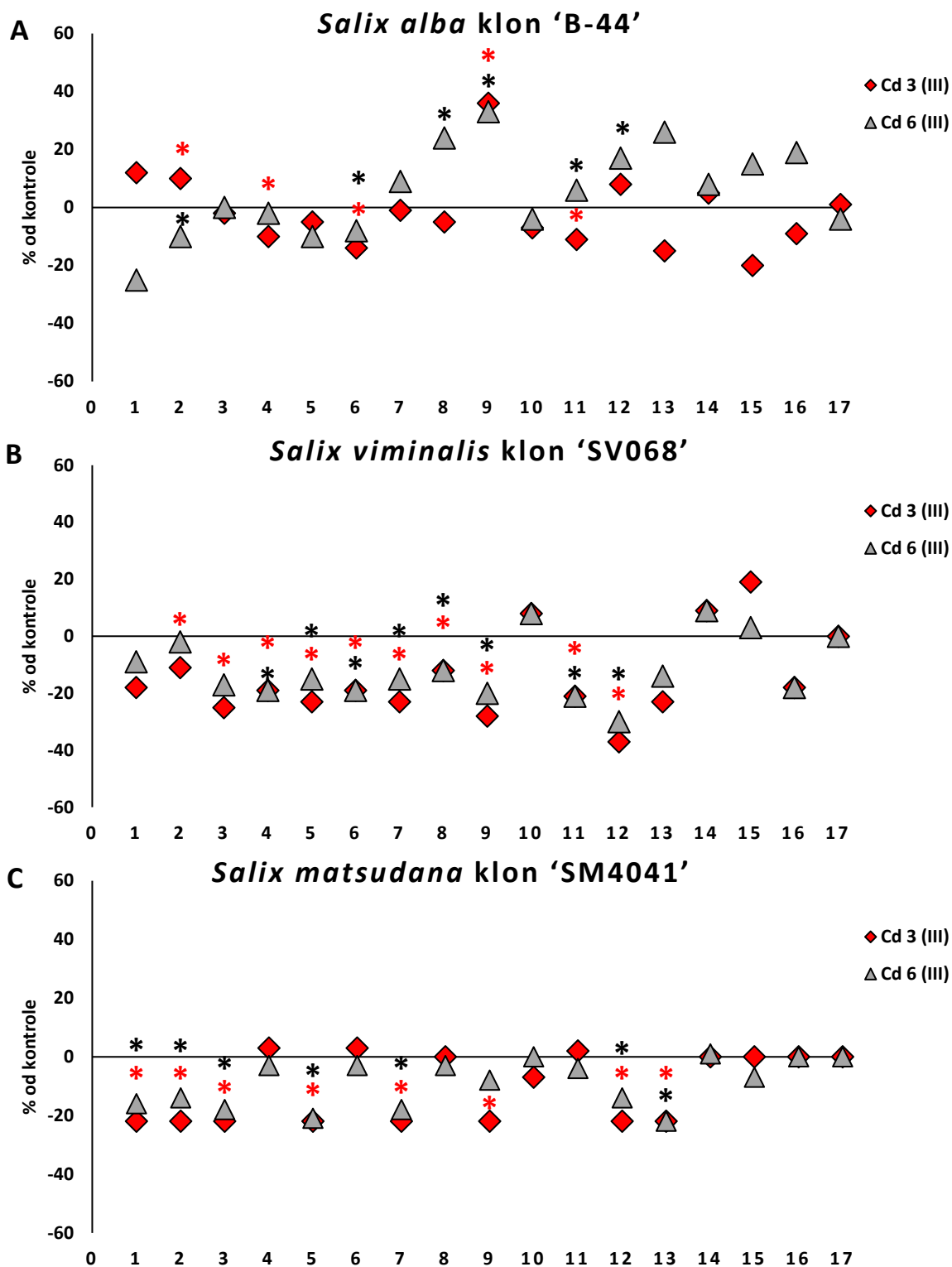
U trećoj fazi uzorkovanja liske klona 'B-44' tretman Cd 3 je uzrokovao značajno povećanje debljine liske na 1/4 širine, u odnosu na kontrolu, dok je tretman Cd 6 imao suprotno, negativno dejstvo (Slika 53A., Tabela P80.). Samo tretman Cd 3 je uzrokovao značajno smanjenje procenta debljine adaksijalnog epidermisa, ali obe koncentracije Cd su dovele do smanjenja procenta debljine abaksijalnog epidermisa u odnosu na kontrolni uzorak.

Značajno povećanje površine palisadnih ćelija od kontrole zabilježeno je u prisustvu obe koncentracije Cd, ali samo je tretman Cd 6 imao stimulativan efekat na procenat debljine palisadnog tkiva. Iako je površina ćelija sunderastog tkiva značajno veća u odnosu na kontrolu nakon primjene Cd 6, tretman Cd 3 je uzrokovao smanjenje procenta debljine sunderastog tkiva. Koncentracija Cd 6 je, s druge strane, uzrokovala značajno veći procenat debljine sunderastog tkiva od kontrolnog uzorka. U poređenju sa kontrolom, Cd nije imao značajan uticaj na parametre glavnog nerva liske klona 'B-44', bez obzira na primjenjenu koncentraciju.

Nakon tretmana sa obe koncentracije Cd, zapažena je značajna redukcija parametara epidermisa i hllorenhima u trećoj fazi uzorkovanja liske klona 'SV068', u odnosu na kontrolu (Slika 53B., Tabela P81.). Pored smanjenja površina ćelija adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa, palisadnog i sunderastog tkiva, oba tretmana Cd su uzrokovala i smanjenje procenata debljine epidermalnih i tkiva hllorenhima. Koncentracija Cd je imala negativan uticaj na debljinu liske i na 1/4 širine i u regionu nerva. Tretmani Cd 3 i Cd 6 nisu imali značajan uticaj na parametre glavnog nerva liske klona 'SV068', u poređenju sa kontrolom.

U trećoj fazi uzorkovanja liske klona 'SM4041' zapaža se da su se promjene u anatomskim parametrima liske u prisustvu dvije koncentracije Cd ogledale u značajnoj redukciji površina liske i površine glavnog nerva, debljine liske i na 1/4 širine i debljine liske na glavnom nervu, u poređenju sa kontrolom. Što se tiče pokoričnog tkiva, zabilježena je značajna redukcija površine ćelija oba epidermisa.

Hllorenhim je na uticaj dva tretmana Cd reagovao značajnom redukcijom površine ćelija sunderastog parenhima, dok se površina palisadnih ćelija u odnosu na kontrolu značajno smanjila samo nakon tretmana Cd 3. Tretmani Cd 3 i Cd 6 nisu imali značajan uticaj na parametre glavnog nerva liske klona 'SM4041', u odnosu na kontrolu (Slika 53C., Tabela P82.).



Slika 53. Promjene anatomskih karakterata liske tri klonova *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (III uzorak). 1 - Površina liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$); 2 - Debljina liske na 1/4 širine (μm); 3 - Debljina liske na glavnom nervu (μm); 4 - Procenat debljine adaksijalnog epidermisa; 5 - Površina poprečnog presjeka ćelija adaksijalnog epidermisa (μm^2); 6 - Procenat debljine abaksijalnog epidermisa; 7 - Površina poprečnog presjeka ćelija abaksijalnog epidermisa (μm^2); 8 - Procenat debljine palisadnog tkiva; 9 - Površina poprečnog presjeka ćelija palisadnog tkiva (μm^2); 10 - Indeks palisadnih ćelija; 11 - Procenat debljine sunderastog tkiva; 12 - Površina poprečnog presjeka ćelija sunderastog tkiva (μm^2); 13 - Površina poprečnog presjeka glavnog nerva ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$); 14 - Procenat površine ksilema snopića glavnog nerva; 15 - Procenat površine floema snopića glavnog nerva; 16 - Procenat površine sklerenhima glavnog nerva. (*): $p \leq 0,05$.

5.1.14. Promjene anatomskih osobina liske klonova vrba tretiranih kadmijumom u prisustvu limunske kiseline

Poprečni presjeci liski klonova vrba gajenih u prisustvu Cd 3+L i Cd 6+L prikazani su u prilogu (Slika P32.-P35.). Rezultati analize uticaja Cd u prisustvu limunske kiseline tokom tri faze uzorkovanja liske istraženih klonova vrba predstavljeni su na Slikama 54-56. i u Tabelama P83-P91.

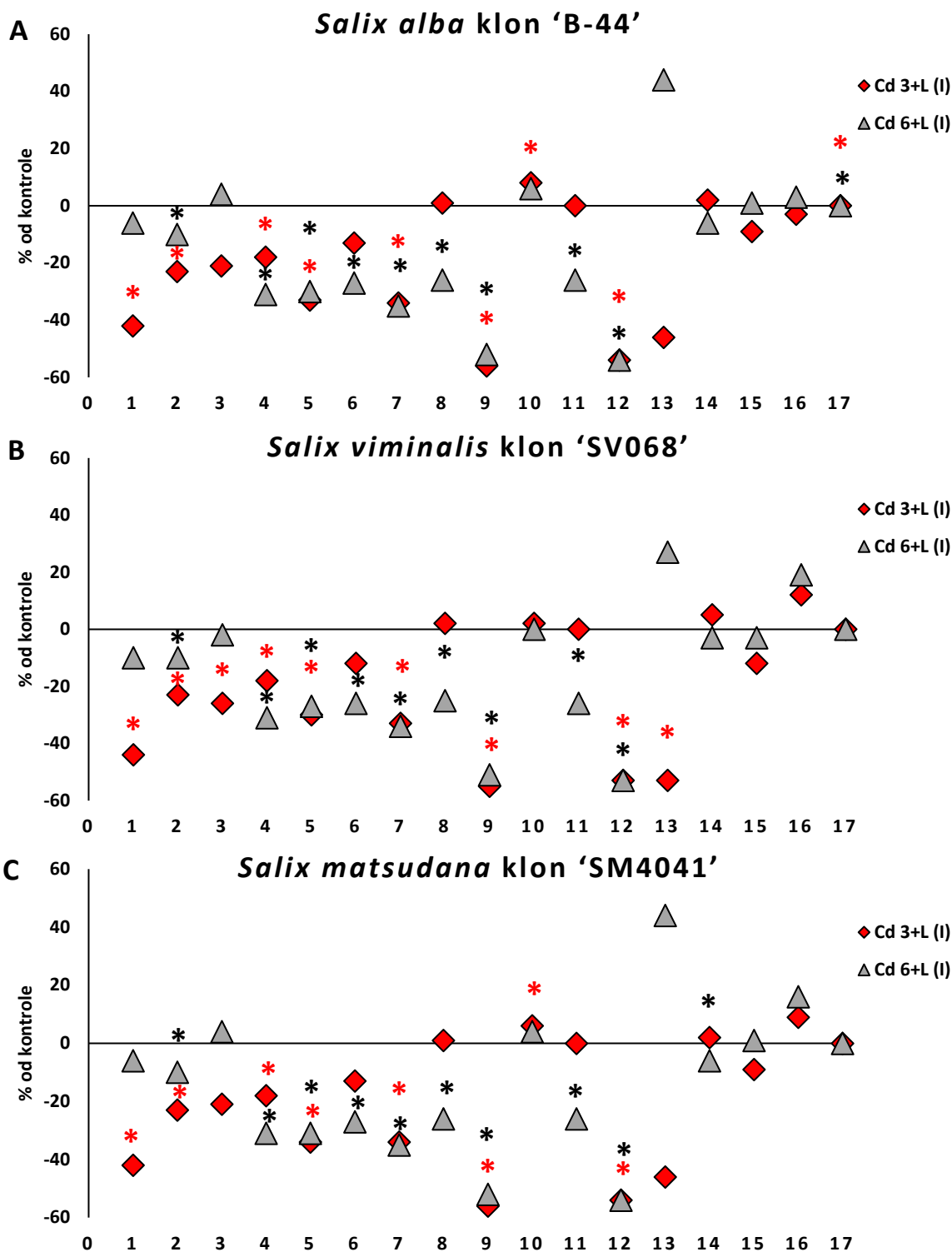
U prvom uzorku liske, nakon tretmana sa Cd 3+L i Cd 6+L kod analiziranih klonova se zapažaju slične promjene anatomskih karaktera u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom. Uočene promjene uglavnom se ogledaju u značajnoj redukciji izmjerenih i izračunatih parametara tretiranih uzoraka u odnosu na kontrolni uzorak sa limunskom kiselinom.

Kod analiziranih klonova vrba, oba tretmana Cd u prisustvu limunske kiseline imala su statistički značajno, redukujuće dejstvo na debljinu liske na 1/4 širine, kao i na iste anatomske karaktere pojedinih tkiva u prvoj fazi uzorkovanja liske, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom: površinu ćelija adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa na poprečnom presjeku, ali samo na procenat debljine adaksijalnog epidermisa; površinu ćelija palisadnog i sunderastog tkiva na poprečnom presjeku (Slika 54A-C., Tabele P83-P85.).

Pored toga, tretman Cd 3+L je redukovao površinu liske na poprečnom presjeku; tretman Cd 6+L doveo je do smanjenja procenata debljina abaksijalnog epidermisa, palisadnog i sunderastog tkiva.

Kod klonova 'B-44' (Slika 54A., Tabela P83.) i 'SM4041' (Slika 54C., Tabela P85.) zapaža se da je nakon primjene Cd 3+L došlo do malog, ali značajnog porasta indeksa palisadnih ćelija u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom. Međutim, kod klona 'SV068' nije zabilježen značajan efekat Cd na ovaj parametar, bez obzira na koncentraciju Cd u prisustvu limunske kiseline.

Klon 'SV068' je na tretman Cd 3+L reagovao značajnom redukcijom debljina liske na glavnom nervu usljed smanjenja površine poprečnog presjeka glavnog nerva (Slika 54B., Tabela P84.). S druge strane, iako su kod klonova 'B-44' i 'SM4041' tretmani Cd 3+L i Cd 6+L imali suprotno dejstvo na ova dva parametra liske, ono nije bilo statistički značajno. U regionu glavnog nerva procenat površine ksilema snopića smanjen je samo u liski klona 'SM4041', nakon tretmana Cd 6+L, kada se uporedi sa kontrolnim uzorkom.



Slika 54. Promjene anatomskih karakterata liske tri klon *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (I uzorak). 1 - Površina liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$); 2 - Debljina liske na 1/4 širine (μm); 3 - Debljina liske na glavnom nervu (μm); 4 - Procenat debljine adaksijalnog epidermisa; 5 - Površina poprečnog presjeka ćelija adaksijalnog epidermisa (μm^2); 6 - Procenat debljine abaksijalnog epidermisa; 7 - Površina poprečnog presjeka ćelija abaksijalnog epidermisa (μm^2); 8 - Procenat debljine palisadnog tkiva; 9 - Površina poprečnog presjeka ćelija palisadnog tkiva (μm^2); 10 - Indeks palisadnih ćelija; 11 - Procenat debljine sunderastog tkiva; 12 - Površina poprečnog presjeka ćelija sunderastog tkiva (μm^2); 13 - Površina poprečnog presjeka glavnog nerva ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$); 14 - Procenat površine ksilema snopića glavnog nerva; 15 - Procenat površine floema snopića glavnog nerva; 16 - Procenat površine sklerenhima glavnog nerva. (*): $p \leq 0,05$ (Dankanov test).

Rezultati analize anatomskih karaktera u drugoj fazi uzorkovanja liske klonova vrba pokazali su da su statistički značajna odstupanja od kontrole bila najizraženija kod klona 'B-44', u smislu povećanja većine parametara u poređenju sa kontrolnim uzorkom sa limunskom kiselinom (Slika 55A., Tabela P86.). Površina liske na poprečnom presjeku, zatim, debljina liske na 1/4 širine i debljina liske na glavnom nervu značajno su se povećali pod uticajem kadmijuma uz prisustvo helatne limunske kiseline.

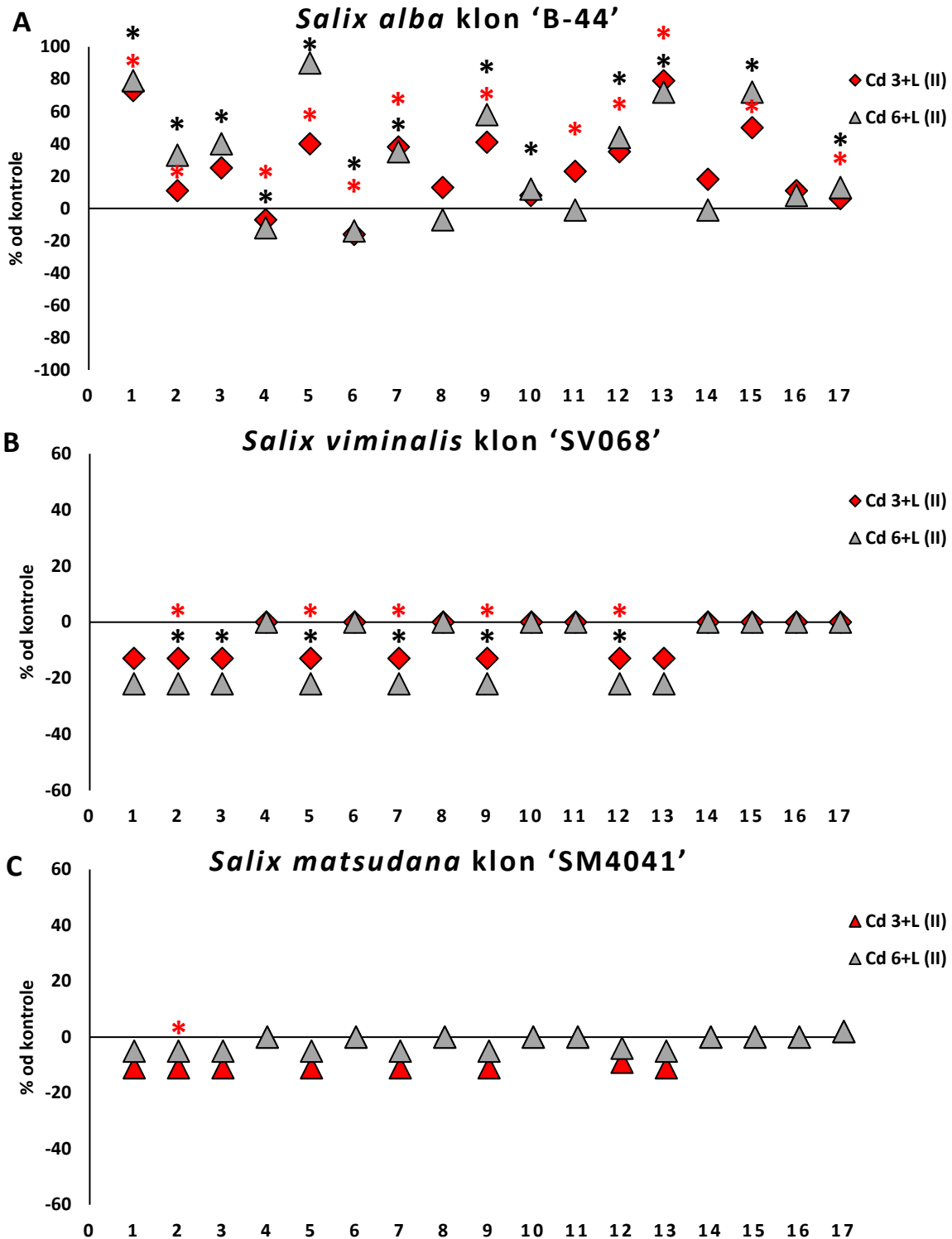
Tanji abaksijalni i adaksijalni epidermis zabilježen je nakon tretmana sa obe koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline, ali površine ćelija oba epidermisa na poprečnom presjeku značajno su veće od kontrole sa limunskom kiselinom. Povećana površina ćelija hlorenhima takođe se zapaža poslije tretmana sa Cd 3+L i Cd 6+L, kada se uporedi sa kontrolom sa limunskom kiselinom.

Hlorenhim je na tretmane Cd 3+L i Cd 6+L reagovao povećanjem površine ćelija palisadnog i sunđerastog tkiva na poprečnom presjeku, u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom. Zapaža se povećanje površine poprečnog presjeka glavnog nerva i procenta površine floema snopića glavnog nerva.

U poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom, u drugoj fazi uzorkovanja liske klona 'SV068' mala, ali statistički značajna redukcija debljine liske na 1/4 širine uzrokovana je redukcijom površine ćelija adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa, kao i površine ćelija palisadnog i sunđerastog tkiva, pod uticajem tretmana Cd 3+L i Cd 6+L.

Debljina liske na glavnom nervu smanjena je pod uticajem tretmana Cd 6+L, ali manja površina glavnog nerva nije bila statistički značajno različita od kontrolnog uzorka sa limunskom kiselinom (Slika 55B., Tabela P87.).

U drugoj fazi uzorkovanja liske klon 'SM4041' je pokazao mali stepen redukcije analiziranih parametara pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L, ali osim smanjene debljine liske na 1/4 širine, odstupanja svih ostalih parametara od kontrole sa limunskom kiselinom nisu bila statistički značajna (Slika 55C., Tabela P88.).



Slika 55. Promjene anatomskih karakterata liske tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (II uzorak). 1 - Površina liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$); 2 - Debljina liske na 1/4 širine (μm); 3 - Debljina liske na glavnom nervu (μm); 4 - Procenat debljine adaksijalnog epidermisa; 5 - Površina poprečnog presjeka ćelija adaksijalnog epidermisa (μm^2); 6 - Procenat debljine abaksijalnog epidermisa; 7 - Površina poprečnog presjeka ćelija abaksijalnog epidermisa (μm^2); 8 - Procenat debljine palisadnog tkiva; 9 - Površina poprečnog presjeka ćelija palisadnog tkiva (μm^2); 10 - Indeks palisadnih ćelija; 11 - Procenat debljine suđerastog tkiva; 12 - Površina poprečnog presjeka ćelija suđerastog tkiva (μm^2); 13 - Površina poprečnog presjeka glavnog nerva ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$); 14 - Procenat površine ksilema snopića glavnog nerva; 15 - Procenat površine floema snopića glavnog nerva; 16 - Procenat površine sklerenhima glavnog nerva. (*) : $p \leq 0,05$ (Dankanov test).

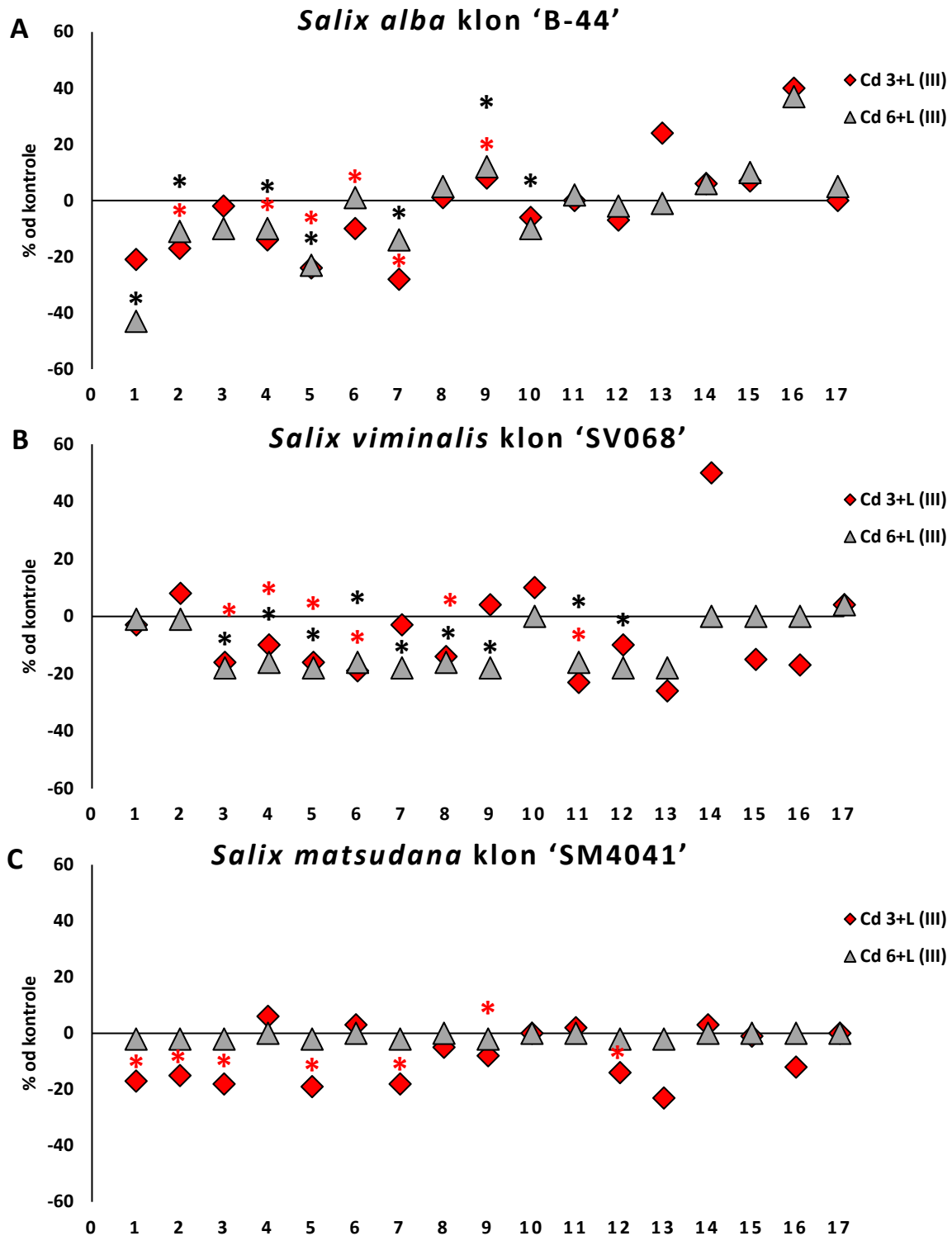
Analizom anatomskih karaktera liske u trećoj fazi uzorkovanja utvrđeno je da su posmatrani klonovi različito reagovali na tretmane Cd 3+L i Cd 6+L, u odnosu na kontrolni uzorak gajen u prisustvu limunske kiseline (Slika 52A.-C., Tabele P92-P94.). Ipak, kod svih klonova dva tretmana Cd u prisustvu limunske kiseline nisu imali statistički značajan uticaj na parametre glavnog nerva.

Primjena tretmana Cd 3+L i Cd 6+L kod klona 'B-44' dovela je do uvećanja površina ćelija palisadnog tkivam ali redukcije debljine liske na 1/4 širine, procenta debljine adaksijalnog epidermisa, površina ćelija adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa na poprečnom presjeku. Procentat debljine abaksijalnog epidermisa smanjio se signifikantno samo nakon tretmana Cd 3+L, dok je tretman Cd 6+L značajno redukovao površinu liske na poprečnom presjeku i indeks palisadnih ćelija (Slika 56A., Tabela P89.)

Oba tretmana Cd sa limunskom kiselinom redukovala su debljinu liske na glavnom nervu, procenat debljine adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa, površinu ćelija adaksijalnog epidermisa, kao i procenat debljine palisadnog i sunderastog tkiva u trećoj fazi uzorkovanja liske klona 'SV068' u odnosu na kontrolni uzorak. Dalje, tretman Cd 6+L je doveo do značajnog smanjenja procenta debljine abaksijalnog epidermisa i površine ćelija palisadnog tkiva (Slika 56B., Tabela P90.).

Mala, ali statistički značajna smanjenja vrijednosti karaktera liske u trećoj fazi uzorkovanja klona 'SM4041' uzrokovana su dejstvom samo tretmana Cd 3+L i u odnosu na kontrolu zabilježena su za sledeće anatomske parametre: površina liske na poprečnom presjeku, debljina liske na 1/4 širine (μm), debljina liske na glavnom nervu, površina ćelija adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa i ćelija palisadnog i sunderastog tkiva, na poprečnom presjeku (Slika 56C., Tabela P91.).

Značajne razlike između primjenjenih tretmana Cd bez limunske kiseline i Cd u prisustvu limunske kiseline zapažene su za većinu parametara liski (Tabela 34.).



Slika 56. Promjene anatomskih karakterata liske tri klona *Salix* spp. tretiranih sa Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom (III uzorak). 1 - Površina liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$); 2 - Debljina liske na 1/4 širine (μm); 3 - Debljina liske na glavnom nervu (μm); 4 - Procenat debljine adaksijalnog epidermisa; 5 - Površina poprečnog presjeka ćelija adaksijalnog epidermisa (μm^2); 6 - Procenat debljine abaksijalnog epidermisa; 7 - Površina poprečnog presjeka ćelija abaksijalnog epidermisa (μm^2); 8 - Procenat debljine palisadnog tkiva; 9 - Površina poprečnog presjeka ćelija palisadnog tkiva (μm^2); 10 - Indeks palisadnih ćelija; 11 - Procenat debljine sunderastog tkiva; 12 - Površina poprečnog presjeka ćelija sunderastog tkiva (μm^2); 13 - Površina poprečnog presjeka glavnog nerva ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$); 14 - Procenat površine ksilema snopića glavnog nerva; 15 - Procenat površine floema snopića glavnog nerva; 16 - Procenat površine sklerenhima glavnog nerva. (*) : $p \leq 0,05$ (Dankanov test).

Tabela 34. Značajnost promjena anatomskih karakteristika liske klonova *Salix* spp. tretiranih Cd (Cd 3 i Cd 6) i Cd u prisustvu limunske kiseline (Cd 3+L i Cd 6+L) tokom tri uzorkovanja (I, II i III)

Anatomski parametri liske	klon <i>Salix</i> spp.																	
	'B-44'						'SV068'						'SM4041'					
	I		II		III		I		II		III		I		II		III	
	A ⁺	B ⁺⁺	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
P liske na poprečnom presjeku	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**
Debljina liske na 1/4 širine	**	**	**	**	**	ns	**	**	ns	**	**	ns	**	**	**	**	**	**
Debljina liske na glavnom nervu	**	ns	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	ns	**	ns	**	**	**	**
% Debljine adaksijalnog epidermisa	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	*	*
P ćelija adaksijalnog epidermisa	ns	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	*	ns	**	**	**	*	**
% Debljine abaksijalnog epidermisa	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	*	**	**	**	**	ns	*
P ćelija abaksijalnog epidermisa	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**
% Debljine palisadnog tkiva	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	*
P ćelija palisadnog tkiva	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**
Indeks palisadnih ćelija	ns	ns	**	**	ns	**	**	**	ns	**	ns	**	**	*	ns	ns	**	ns
% Debljine sunderastog tkiva	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	ns	**	ns	**
P ćelija sunderastog tkiva	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

P - površina; A⁺ - poređenje Cd 3: Cd 3+L; B⁺⁺ - poređenje Cd 6: Cd 6+L; t test značajnosti, ns - nije značajno, * - $p \leq 0.05$ i ** - $p \leq 0.01$.

6. Diskusija

6.1. Anatomska građa vegetativnih organa klonova vrba

Oblik poprečnog presjeka **reznica** analiziranih genotipova vrba je okrugao do ovalan, kako navode i Crivellaro i Schweingruber (2015). Anatomska građa reznica je slična među klonovima i odgovara generalnom opisu građe stabla koji su za rod *Salix* dali Metcalfe i Chalk (1965) i Crivellaro i Schweingruber (2013, 2015).

Među analiziranim genotipovima vrba, klon 'SM4041' se odlikuje najbolje razvijenim peridermom, primarnom korom i sekundarnim floemom. Raspored sklerenhima u sekundarnoj kori reznica klonova u vidu grupisanih elemenata i tangencijalnih nizova, takođe je zapažen kod drugih vrsta i hibrida vrba (Dou i sar., 2016; Oktaee i sar., 2017). Lignifikovani ćelijski zidovi elemenata sklerenhima u korteksu reznica vrba obojeni su crvenom bojom nakon tretmana floroglucinolom, dok elementi koji nemaju lignifikovane ćelijske zidove nisu obojeni, što su ustanovili i Dou i sar. (2016).

U drvetu analiziranih genotipova vrba dominira sekundarni ksilem. Generalan opis strukture sekundarnog drveta roda *Salix* dali su Record i Hess (1943), navodeći da su traheje brojne, grupisane, ponekad u koncentričnom ili kosom rasporedu. Drvo analiziranih genotipova je difuzno-poroznog tipa, što je u skladu sa opisom drveta drugih vrsta vrba: *Salix caerulea* (Metcalfe, 1939), *Salix humboldtiana* (Détienne i Jacquet, 1983), *Salix caprea* i *Salix pentandra* (Sennerby-Forsse, 1988), kanadskih endemičnih vrba (Cooper i Cass, 2001), *Salix alba* (Crivellaro i Schweingruber, 2013; Wani i sar., 2014), *Salix babylonica* (Zhang i sar., 2022), *Salix matsudana* (Huang i sar., 2022; Zhang i sar., 2022). Drugi autori navode da je kod *Salix* spp. drvo difuzno- do polu-prstenasto porozno (Richter i Dallwitz, 2000; Schoch i sar., 2004; Gao i sar., 2021). De Andrada Wagner i sar. (2009) su ustanovili da postoji razlika u anatomskoj strukturi godova mladih i starijih stabala hibrida *Salix × rubens*, pri čemu su jednogodišnja stabla difuzno porozne strukture drveta, dok stariji desetogodišnji uzorci stabla imaju polu-prstenasto porozno drvo.

Traheje kod analiziranih klonova vrba su solitarne i grupisane u malim radijalnim grupama sastavljenim od 2 do 4 traheje. Raspored je u skladu sa literaturnim opisom po kojem su traheje vrba raspoređene pojedinačno ili u kratkim radijalnim nizovima, u grupama sastavljenim od 2 do 3 (Richter i Dallwitz 2000; Schoch i sar., 2004) ili od 2 do 4 traheje (Vilotić, 2000; Wani i sar., 2014). Kod nekih vrsta i hibrida vrba koji se gaje za dobijanje industrijskih vlakana i košaračkih proizvoda, npr. *Salix gordejevii* (Xu i sar., 2006) i *Salix × rubens* (Wagner i sar., 2009) ustanovljeno je da su traheje u drvetu isključivo solitarne.

Rezultati analize drveta prezentovani u ovoj disertaciji pokazali su značajne intergenotipske razlike, zasebno na nivou nadzemnog i podzemnog segmenta. Intragenotipska razlika parametara traheja između podzemnog i nadzemnog segmenta reznica nije utvrđena kod svih klonova. Kako su klonovi rasli u istim uslovima staklenika analizirani parametri reznica mogu se smatrati kvantitativnim karakteristikama zavisnim od genotipa.

Ukupan broj traheja u ksilemu nadzemnog segmenta reznica se kretao od 140 do 153 traheja po mm² ksilema, a lumen od 811 do 1070 μm². U podzemnom segmentu broj traheja je bio nešto veći, od 160 do 183 traheja po mm² sa lumenom od 808 do 1098 μm². Klon 'B-44' se odlikovao najvećim brojem traheja u podzemnom segmentu, koje su bile najsitnije među klonovima. Parametri traheja nadzemnog segmenta reznice daju drugačiju sliku o anatomskim razlikama genotipova vrba u odnosu na podzemni segment. Klon 'SM4041' je imao najveći procenat traheja. Klon 'SV068' posjeduje najkrupnije traheje prisutne u najmanjem procentu, dok klon 'B-44' posjeduje najmanji broj i najsitnije traheje u nadzemnom segmentu reznice.

Ovi podaci su u saglasnosti sa rezultatima koji su ukazali da su razlike u osobinama ksilema stabla između šest različitih genotipova vrba zavisile isključivo od klona (Loyal i sar., 2018).

U nedavnim istraživanjima analizirane su varijacije kvalitativnih i kvantitativnih osobina stabla u okviru i između različitih vrsta i klonova vrba značajnih u proizvodnji papira, biogoriva, stočne krme i bioaktivnih jedinjenja. Između ostalog, ove analize obuhvatile su i karaktere drveta: gustinu, dijametar, dužinu, raspored, oblik i debljinu zida traheja (Xu i sar., 2006); dijametar i debljinu zida traheja (Zhou i sar., 2017); dijametar i gustinu traheja (Loyal i sar., 2018; Takele i sar., 2019); procentualno učešće ksilema i dijametar traheja (Özden Keleş, 2021); razlike između tenzionog i reakcionog drveta (Brereton i sar., 2012; Gao i sar., 2021; Ronnberg-Wastljung i sar., 2022). Poređenje podataka dobijenih u ovoj disertaciji sa podacima iz nabrojanih istraživanja ukazuje na široku varijabilnost parametara traheja. Na primjer, Wani i sar. (2014) su naveli veću brojnost od 170 do 340 traheja po mm² ksilema u stablu *Salix alba*, nego kod klona 'B-44' ove vrste. Kod klonova porijeklom od hibrida *Salix alba* i *Salix babylonica*, kao i *Salix alba* i *Salix matsudana*, Loyal i sar. (2018) su ustanovili relativno manji broj od 35 do 91 traheja po mm². Huang i sar. (2022) su naveli da *Salix matsudana* ima veći broj, oko 260 traheja po mm² ksilema, nego što je ustanovljeno kod klona 'SM4041'. Komparativna analiza anatomskih osobina drveta 37 trogodišnjih klonova vrba porijeklom od hibrida vrsta *Salix matsudana*, *Salix alba*, *Salix arbutifolia*, *Salix babylonica* i *Salix tetrasperma*, utvrdila je da se brojnost traheja kretala se od 117,067 do 279,663 traheja po mm² drveta (Takele i sar., 2019). Radi poređenja, Cooper i Cass (2001) navode mnogo veći broj od 553 do 1119 traheja po mm² ksilema endemičnih kanadskih vrba. Xu i sar. (2005) utvrdili su manji broj, 129 traheja po mm² drveta *Salix gordejevii*. De Andrada Wagner i sar. (2009) takođe navode manji broj, od 100 do 180 na mm² ksilema u mladim, jednogodišnjim izdancima i od 40 do 114 na mm² ksilema u starijim uzorcima stabla *Salix × rubens*. Varijacije kvantitativnih karaktera ksilema vrba prezentovane u okviru ove disertacije i podaci dobijeni u nabrojanim istraživanjima ukazuju da parametri traheja i ksilema mogu biti značajni dijagnostički markeri karakterizacije klonova, kao što ističu Gao i sar. (2021). Ovi podaci takođe pokazuju da su varijacije anatomskih osobina drveta vrba zavisile od različitih uslova rasta prirodnih ili eksperimentalnih populacija, koje su rasle pod uticajem promjenljivih ekoloških faktora u poljskim uslovima ili u polukontrolisanim uslovima staklenika. Poređenje strukturnih osobina ksilema između različitih genotipova može da ukaže i na promjene kroz koje tkivo ksilema vrba prolazi tokom ontogenetskog razvoja (Gloser i sar., 2011).

Komparativna analiza strukturnih osobina reznica klonova vrba radi utvrđivanje razlika u hidrauličkim osobinama ksilema značajna je sa više aspekata. Naučni značaj proučavanja anatomskih karaktera drveta zasniva se na činjenici da drvo objedinjuje funkcije transporta i skladištenja vode i nutrijenata (Tyree i Yang, 1990; Tyree i Ewers, 1991; Jupa i sar., 2016), neophodnih za rast i opstanak vrba koje se kao pionirske vrste suočavaju sa promjenljivim uslovima životne sredine (Dos Santos Utmazian i sar., 2007; Hangs i sar., 2011). Vrbe su poznate kao freatofite, brzorastuće drvenaste biljke koje imaju veliki kapacitet usvajanja podzemnih voda i odgovarajući visoki intenzitet transpiracije tokom dana (Danielescu i sar., 2020), zbog čega su podložne kavitaciji ksilema u uslovima suše i veoma su osjetljive na vodni stres (Wikberg i Ögren 2004; Zhivotovsky i Kuzovkina 2010).

Visoka hidraulička provodljivost ksilema neophodna je za održavanje visoke produktivnosti i prilagođavanje abiotičkim faktorima stresa (Tyree i Evers, 1991; Tyree, 2003). Hidraulička provodljivost i efikasnost ksilema drvenastih vrsta u transportu vode određena je gustinom, površinom i dijametrom trahejarnih sudova (Tyree i Evers, 1991; Smith i sar., 2013; Hajek i sar., 2014; Barotto i sar., 2017; Zimmermann i sar., 2021), gustinom i osobinama parenhimskih ćelija (Kiorapostolou i sar., 2019; Trifilò i sar., 2019; Pratt i sar., 2021;

Šlupianeki sar., 2021) i drvnih vlakana (Janssen i sar., 2019; Kiorapostolou i sar., 2019; Pratt i sar., 2021). Varijabilnost genotipova vrba u odnosu na efikasnost usvajanja vode dobro je dokumentovana zahvaljujući brojnim fiziološkim analizama i identifikaciji genotipova koji imaju visok prinos biomase u uslovima suše (Rönnerberg-Wästljung i sar., 2005; Cochard i sar., 2007; Bonosi i sar., 2010; Fabio i sar., 2019). Ali, mali broj istraživanja ukazao je na vezu između anatomskih karaktera ksilema, hidrauličke provodljivosti, osjetljivosti na kavitaciju i produktivnost biomase drvenastih biljaka iz familije Salicaceae (Cochard i sar., 2007; Fichot i sar., 2009; Hajek i sar., 2014; Loval i sar., 2018).

Pored hidrauličke provodljivost ksilema, kavitacija je značajni faktor koji utiče na produktivnost i preživljavanje biljaka (Scholz i sar., 2013). Podaci o anatomskim karakteristikama ksilema stabla vrba, prije svega broj i dimenzija provodnih elemenata, imaju ulogu u procjeni maksimalnog transporta vode i osjetljivosti na kavitaciju i embolizam (Gloser i sar., 2011; Li i sar., 2016). Osjetljivost na kavitaciju i emboliju ograničava rast drvenastih vrsta iz familije Salicaceae na sušnim staništima (Tyree i sar., 1994). Novija istraživanja ističu da otpornost ksilema prema embolizmu predstavlja glavni faktor koji određuje toleranciju prema suši (Levionnois i sar., 2021, 2022; Avila i sar., 2023). Kod predstavnika familije Salicaceae, traheje šireg lumena su generalno povezane sa nižom hidrauličkom otpornošću na embolizam (Awad i sar., 2010; Hajek i sar., 2014).

Širom Evrope različiti genotipovi vrba se gaje radi dobijanja sirovina za industrijske potrebe (Mola-Yudego i sar., 2016; Fernández i sar., 2020). Jedna od najpoželjnijih osobina vrba koje imaju takav ekonomski značaj je brz rast, koji predstavlja rezultat složenih interakcija genotipa i uslova sredine (Orlović i sar., 1996). Na teritoriji Republike Srbije istraživanja u oblasti oplemenjivanja i selekcije novih sorti i klonova vrba obuhvatila su uglavnom ispitivanja fizičkih osobina, hemijskog sastava i kvaliteta drveta genotipova autohtone vrste *Salix alba* kao važne sirovine za proizvodnju pulpe, vlakana i biogoriva. Od anatomskih osobina, analizirani su širina godova i dužina vlakana, gdje je ustanovljeno da između različitih klonova bijele vrbe postoji velika varijabilnost u ovim parametrima (Klašnja i sar., 1997, 1999, 2001, 2002, 2005). Pored toga, istraživanje na uzorcima pet klonova bijele vrbe iz poljskog višegodišnjeg ogleada ustanovilo je da između klonova postoji značajna razlika u pogledu fizioloških parametara i elemenata rasta (dijametra i visine stabala). Neto fotosinteza i broj stoma su bili u visokoj korelaciji sa elementima rasta što upućuje na to da se ovi parametri mogu koristiti u ranoj selekciji klonova bijele vrbe na bujnost rasta (Orlović i sar., 2006). Istraživanja rasta stabala zasadima *Salix alba* osnovanim na zemljištu tipa fluvisol i humoglej ukazuju na skromnu proizvodnost i prirast bijele vrbe što je posljedica uticaja egzogenih faktora: ograničenog prostora za rast stabala u zasadu, hidrološkog režima zemljišta i dužeg zadržavanja podzemnih voda u zoni korijenovog sistema (Andrašev i sar., 2011). Ipak, tim istraživanjima nije bio obuhvaćen klon bijele vrbe 'B-44'.

Visoka hidraulička efikasnost ksilema predstavlja neophodan preduslov za visoku produkciju biomase drvenastih biljaka (Kumar i sar., 2022). Iako i hidraulična efikasnost i otpornost na embolizam utiču na rast biljaka i toleranciju na sušu, jedna ista vrsta ne može da istovremeno ima visoke vrijednosti oba parametra jer na njih direktno utiču anatomske osobine ksilema (Kumar i sar., 2022). Veći dijametar i širi lumen traheja pozitivno utiču na veću efikasnosti transporta vode kroz ksilem (Rodriguez-Zaccaro i sar., 2021). S druge strane, veći dijametar traheja povezan je sa većom osjetljivošću na kavitaciju uzrokovanu sušom i drugim abiotičkim faktorima stresa (Gleason et al., 2016; Hacke et al., 2016). Ksilem stabla vrba je posebno podložan kavitaciji i emboliji (Ogasa i sar., 2013; Li i sar., 2016). Povećanje dimenzija traheja i hidrauličke provodljivosti (efikasnosti) uzrokuje rast osjetljivosti na kavitaciju i embolizam (Sperry i Tyree, 1990; Tyree i sar., 1994; Hacke i sar., 2006; Cai i Tyree, 2010;

Lens i sar., 2010; Markesteyn i sar., 2011), odnosno smanjenje hidrauličke bezbjednosti (Liu i sar., 2021). Zbog toga je klon 'SV068' sa najvećom vrijednošću k_h i najkrupnijim trahejama pod najvećim rizikom od embolije. Veća otpornost prema suši ogleda se u trahejama manjeg dijametra i veće gustine (Bass i sar., 2004; Hacke i sar., 2006; Cai i Tyree, 2010). Među analiziranim genotipovima, klon 'B-44' sa najsitnijim trahejama ima najmanju k_h i najniži V_i .

Kod analiziranih klonova vrba ustanovljena je slaba pozitivna korelaciona veza između k_h i V_i . Većina nedavnih studija takođe je ustanovila slabu ili čak nepostojanje veze između produktivnosti, hidraulične efikasnosti i otpornosti kod drvenastih biljaka (Hajek i sar., 2014; Gleason i sar., 2014; Liu i sar., 2021). Generalno se smatra da hidraulička provodljivost ksilema i otpornost prema embolizmu i kavitaciji zavise isključivo od anatomskih osobina ksilema, prvenstveno od dijametra traheja (Hacke i sar., 2006; Sperry i sar., 2006; Lobo i sar., 2018). Nova istraživanja napominju mogućnost da interpecijska varijabilnost u pogledu k_h i otpornosti na sušu, kavitaciju i embolizam i odnosi između ovih parametara nisu povezani samo sa dijametrom traheja, već da zavise od niza anatomskih svojstava drveta, prije svega od veličine, rasporeda i broja opšaćenih jamica na zidovima traheja (Skelton i sar., 2018; Wason i sar., 2018), a posebno od ultrastrukture membrana jamica (Choat i sar., 2008; Lens i sar., 2011; Scholz i sar., 2013; Okello i sar., 2017). Kod klonova vrba i topola ranije je utvrđeno postojanje pozitivne korelacije između smanjene otpornosti na kavitaciju i produkcije nadzemne biomase, jer su najproduktivniji klonovi bili i najosjetljiviji (Cochard i sar., 2007). U odnosu na topole, vrbe imaju veći stepen preživljavanja u slučaju nepredvidivih promjena uslova sredine, kao što su stres izazvan pojavom suše ili mraza, jer njihove traheje su manjih dimenzija i time manje podložne kavitaciji (Özden Keleş, 2021). Ipak, istraživanja sa genotipovima roda *Populus* nisu utvrdila povezanost osobina rasta i hidrauličke provodljivosti (Fichot i sar., 2010; Hajek i sar., 2014; Guet i sar., 2015).

U ovom radu je pokazano da k_h ksilema reznica vrba stoji u visokoj pozitivnoj korelaciji sa brojem grupisanih traheja ali u negativnoj korelaciji sa prosječnom površinom traheja. Korelaciona analiza anatomskih parametara mladih stabala *Populus* spp. je pokazala da veliki broj traheja stoji u obrnutoj proporcionalnosti u odnosu na provodljivost (Perić, 2015). Utvrđeno je da kod analiziranih genotipova vrba postoji pozitivna korelacije između k_h i V_g . Pored toga, k_h i V_i stoje u značajnim pozitivnim korelacijama sa brojem grupisanih traheja i brojem grupa traheja u ksilemu reznica klonova vrba. Gustina traheja i V_g utiču na hidrauličku funkciju ksilema. Veća gustina traheja može da poveća efikasnost transporta vode i zaštiti ksilem od oštećenja hidrauličke funkcije tako što omogućava da mnogo veća frakcija traheja manjeg dijametra ostane funkcionalna u uslovima vodnog stresa (Villar-Salvador i sar., 1997). Visok stepen grupisanja traheja poboljšava otpornost prema embolizmu (Awad i sar., 2010; Choat i sar., 2011; Lens i sar., 2011; Scholz i sar., 2013). Na primjer, kod klona *Populus deltoides x nigra* rizik od kavitacije se smanjuje stvaranjem traheja užeg lumena koje su brojnije i sa većim indeksom grupisanja (Rodriguez-Zaccaro i sar., 2021). Povećanje gustine traheja u stablu dovodi do povećanja obima ksilema (Schuldt i sar., 2013) što može da se dovede u vezu sa povećavanjem vodnog kapaciteta kojim se djelimično kompenzuje veća podložnost stabla ksilemskoj emboliji (Li i sar., 2016). Veći V_g povećava hidrauličku efikasnost i ublažava negativne efekte kavitacije tako što stvara alternativne rute protoka ksilemskog soka koji zaobilazi embolizovane traheje (Lens i sar., 2011). Veći V_g može da poveća osjetljivost na kavitaciju jer povećava mogućnost da se embolizam širi kroz međusobno povezane elemente ksilema (Loepfe i sar., 2007).

Nizak odnos ksilema i floema, malo procentualno učešće ksilema u stablu, veliki broj traheja uskog lumena, niska k_h i visok stepen otpornosti na emboliju se smatraju anatomskim karakteristikama klonova topola sa nižim potencijalom rasta (Perić, 2015). Međutim, po svim

ovim parametrima, ni jedan od analiziranih klonova vrba ne može se okarakterisati kao genotip sa brzim ili sporim rastom reznice. Najmanji odnos ksilema i sekundarnog floema ustanovljen je kod klona 'SM4041'. Ali, ovaj klon karakteriše najveća k_h i najveći broj relativno krupnih traheja u nadzemnom segmentu reznice što su prema Perić (2015) anatomske parametri koji uslovljavaju visok porast. Sitne traheje, kao i mala provodljivost uzrokuju brz porast klonova topola u juvenilnoj fazi, ali uzrokuju kasnije smanjenje porasta (Perić, 2015). Klon 'B-44' se karakterisao najmanjim brojem i najsitnijim trahejama. Među klonovima nije utvrđena značajna razlika u pogledu otpornosti na kavitaciju i emboliju. Ovakve razlike među ispitanim klonovima vrba mogu se objasniti činjenicom da je visoka hidraulična provodljivost preduslov za visoku proizvodnju biomase, dok je veza hidrauličke efikasnosti ksilema i otpornosti sa juvenilnim rastom i vodnim režimom specifična za vrstu (Kumar i sar., 2022).

Adventivni **korijenovi** analiziranih genotipova vrba, uzorkovani na 4 cm od vrata korijena (srednji dio korijena), karakterišu se sekundarnom anatomskom građom, koja je slična detaljno opisanoj građi korijena vrste *Populus nigra* iz iste porodice Salicaceae (Mrak i sar., 2016). Najistaknutije razlike anatomske parametara između klonova zapažene su u proporcijama pojedinih tkiva korijena i parametrima traheja. Klon bijele vrbe 'B-44' se odlikovao najvećim vrijednostima površine poprečnog presjeka i dijametra korijena, gustine i ukupnog lumena traheja i najkrupnijim pojedinačnim trahejama. S druge strane, ovi parametri bili su najmanji u korijenu klona košaračke vrbe 'SV068'. Klon kineske vrbe 'SM4041' se odlikovao najvećom površinom parenhimskih ćelija korteksa korijena i najvećim procentualnim učešćem sekundarnog korteksa. Traheje u ksilemu korijena klonova vrba uglavnom su bile solitarne, iako su zapažene i malobrojne radialne grupe sastavljene od dvije traheje. Slično grupisanje i raspored traheja zapaženi su u korijenima drugih drvenastih vrsta, kao što su *Populus nigra* L. (Mrak i sar., 2016) i *Betula platyphylla* Roth. (Zhao, 2016).

Analiza anatomske karaktere korijena značajna je za procjenu razvoja i determinaciju različitih tipova korijenova (Freschet i sar., 2021) i njihovog funkcionisanja u uslovima stresa (Mrak i sar., 2021). Zahvaljujući toleranciji na uslove ograničenog prisustva kiseonika u rizosferi, kada rastu na teškim i poplavljenim zemljištima (Jackson i Attwood, 1996; Kuzovkina i sar., 2004), vrbe u uslovima hipoksije mogu da formiraju adventivne korijenove iz primordija reznice (Kuzovkina i sar., 2004; Kovačević i sar., 2010). Kuzovkina i sar. (2004) su istražili uticaj zbijenog i poplavljenog zemljišta na rast reznica 12 vrsta *Salix* u stakleničkom eksperimentu i pronašli su da su anaerobni uslovi koji nastaju u takvim zemljištima uzrokovali pojavu niza morfoloških adaptacija, uključujući formiranje adventivnih korijenova sa izraženim aerenhimom i potakli veću produkciju nadzemne biomase vrba.

Ranija istraživanja anatomske strukture adventivnih korijena različitih genotipova vrba obuhvatila su samo njihovu primarnu građu (Fjell, 1987; Lux i sar., 2004; Hrkić Ilić i sar., 2020), dok su podaci o sekundarnoj strukturi korijenova vrba malobrojni i uglavnom se odnose na ekofiziološka i dendrohronološka istraživanja (Buchwał i sar., 2013; Gärtner-Roer i sar., 2013; Buchwał, 2014; Owczarek i Opała, 2016) i ulogu različitih klonova vrba u fitoremedijaciji (Hrkić ilić i sar., 2022). Senescencija primarnih tkiva korijena, naročito primarnog korteksa i razvoj sekundarnih tkiva značajno povećavaju zastupljenost i veličinu elemenata metaksilema, što dovodi do povećanja transportnog kapaciteta korijena (McCormack i sar., 2015; Strock i sar., 2018). Uzimajući u obzir generalnu podjelu korijenova na dvije kategorije prema dijametru, fine korijenove sa dijametrom manjim ili jednakim od 1 ili 2 mm i jake korijenove sa dijametrom većim od 2 mm (Zhang i Wang, 2015; Wang i sar., 2015), korijeni analiziranih klonova *Salix* sa dijametrom manjim od 2 mm mogu se klasifikovati kao fini korijenovi, kakve su za različite genotipove vrba opisali Rytter i Hansson (1996) i McCormack i sar. (2015). Fini korijenovi vrba imaju važnu ulogu u kruženju vode,

ugljenika i nutrijenata u zemljištu (McCormack i sar., 2015) i dijele se na dvije funkcionalne grupe, apsorptivne i transportne korijenove (Tobin i sar., 2007; McCormack i sar., 2015). Apsorptivni korijeni imaju primarnu anatomsku građu sa glavnom ulogom u apsorpciji vode i nutrijenata iz zemljišta (Guo i sar., 2008, Long i sar., 2013). Korijeni koje karakteriše stvaranje sekundarnih tkiva označavaju se kao transportni korijenovi (McCormack i sar., 2015; Mrak i sar., 2016; Freschet i sar., 2021). Funkcionalno imaju ulogu u transportu vode, nutrijenata i metabolita ka nadzemnim organima uz pružanje potpore biljnom organizmu (Tobin i sar., 2007; Xia et al. 2010; Day i sar., 2010).

Značaj proučavanja anatomskih parametara adventivnih korijena vrba i njihove povezanosti sa produkcijom biomase nadzemnih organa može da se dovede u vezu sa činjenicom da ožiljavanje odrvenjenih reznica daje mogućnost jednostavne vegetativne propagacije različitih genotipova vrba, što je od posebne važnosti u rasadničkoj proizvodnji i prilikom zasnivanja zasada (Kovačević i sar., 2010). Gajenje vrba u zasadima sa kratkim ciklusom ophodnje (engl. short rotation coppice, SRC) omogućava da se u kratkom vremenskom periodu ostvari produkcija održive i obnovljive nadzemne biomase, koja pozitivno utiče na ravnotežu gasova staklene bašte, zahvaljujući svom potencijalu da veže ugljenik i akumulira ga u podzemnoj biomasi korijenova (Keoleian i Volk, 2005; Karp, 2014). Utvrđeno je da se genotipovi vrba sa najvećom podzemnom biomasom korijena odlikuju najvećim prinosom biomase stabala i listova, kao i najvećim volumenom finih korijenova (Cunniff i sar., 2015). Rezultati korelacione analize anatomskih parametara korijena klonova *Salix* spp., koji se mogu dovesti u vezu sa produkcijom biomase, ukazali su da se površina i dijаметar korijena na poprečnom presjeku nalaze u visokim pozitivnim korelacionim vezama sa gustinom traheja, lumenom i dijametrom pojedinačnih traheja, procentualnim učešćem najkrupnijih traheja i teoretskom hidrauličkom provodljivošću. Utvrđena je visoka negativna korelacija dijametra i površine korijena sa procentualnim učešćem najsitnijih traheja.

Kovačević i sar. (2010) detaljno su analizirali formiranje adventivnih korijenova kod 11 genotipova auhtone vrste *Salix alba*, gajenih u poljskim uslovima na pjeskovito-illovastom fluvisolu i utvrdili značajan uticaj tako formiranog korijenovog sistema na preživljavanje reznica. Autori navode da potencijal ožiljavanja donjeg i gornjeg dijela reznica utiče na rast i vigor izdanaka. Slabija sposobnost korijenovog sistema da podrži kontinuirani i vigorozan rast izbojka dovodi se u vezu sa formiranjem korijenova u donjem dijelu reznice. Među analiziranim genotipovima bijele vrbe, autori ističu da se genotip 'B-44' istakao visokim ožiljavanjem u gornjem dijelu reznice, najvećim ukupnim brojem korijenova i visokim izbojkom. Istraživanja u okviru ove disertacije obuhvatila su takođe klon 'B-44' koji se karakterisao sa najvećim izmjerenim anatomskim parametrima korijena. S druge strane, podaci o masi korijena, kao morfometrijskom parametru mjerenom tokom dvogodišnjeg eksperimenta za potrebe srodne doktorske disertacije, pružaju drugačiju sliku o razlikama između istih genotipova vrba (Arsenov, 2018). Najveća izmjerena masa korijena u prvoj godini gajenja karakterisala je *Salix matsudana*, u drugoj godini gajenja izmjerena je kod *Salix viminalis*, dok se u oba eksperimenta *Salix alba* prema masi korijena nalazila između preostale dvije vrste. Razlike u mjerenjima vjerovatno su uzrokovane različitim supstratom koji je u drugom eksperimentu modifikovan dodatkom treseta.

Hidraulička provodljivost i osjetljivost na embolizam ksilema korijena klonova *Salix* su parametri od posebnog interesa analizirani u ovom radu, jer su značajni za opštu ulogu korijena u transportu vode i drugih molekula ka nadzemnim organima (Schuldt i sar., 2013; Kirfel i sar., 2017). Anatomske i hidrauličke osobine korijena istražene su kod različitih drvenastih vrsta (McElrone i sar., 2004; Froux i sar., 2005; Domec i sar., 2010; Zorić i sar., 2012; Schuldt, 2013; Wang i sar., 2016; Kirfel i sar., 2017; Wu i sar., 2020). Među predstavnicima familije

Salicaceae, hidraulička provodljivost ksilema korijena i otpornost na kavitaciju proučeni su uglavnom kod roda *Populus* (Hukin i sar., 2005; Zhou i sar., 2013; Xu i sar., 2016; Li i sar., 2019), dok je manje dostupnih podataka za predstavnike roda *Salix* (Hrkić Ilić i sar., 2022). Kod analiziranih klonova vrba najveća k_h i najmanji V_i izračunati su kod klona 'B-44' koji se karakteriše najvećom gustinom traheja i najvećim lumenom i dijametrom pojedinačnih traheja. Klon 'SV068' se karakterisao najmanjom k_h , gustinom traheja, lumenom i dijametrom pojedinačnih traheja. Najveći V_i izračunat je kod klona 'SM4041'. U skladu sa tim, utvrđeno je da postoje visoke pozitivne korelacije između k_h i gustine traheja, lumena i dijametra pojedinačnih traheja i procentualnog učešća najkrupnijih traheja korijena. Indeks osjetljivosti na kavitaciju i emboliju koreliše negativno sa gustinom traheja a pozitivno sa procentualnim učešćem traheja čiji su dijametri bili u granicama od 20 do 40 μm .

Dugogodišnja istraživanja razlika između ksilema korijena i nadzemnih organa drvenastih biljaka u pogledu hidrauličke provodljivosti, a naročito otpornosti na embolizam isticala su da je ksilem korijena širokolisnih drvenastih vrsta osjetljiviji na embolizam nego ksilem stabla i izbojaka (Tyree i Evers., 1991; Sperry i Saliendra 1994; Alder i sar., 1996; Tsuda i Tyree 1997; Martinez-Vilalta i Piñol, 2002; Johnson i sar., 2016; Creek i sar., 2018). Ove razlike uzrokovane su različitim karakteristikama tkiva pojedinih organa. Korijeni imaju krupnije traheje u odnosu na izbojke, koje su naročito podložne kavitaciji, zbog čega utiču na funkciju biljnog organizma u cjelini (Jacobsen i sar., 2018).

Hidraulička provodljivost ksilema korijena predmet je brojnih istraživanja (Tyree i Ewers, 1991; Tyree i Zimmermann, 2002; Vercambre i sar., 2002; McElrone i sar., 2004; De Silva i sar., 2012; Scholz i sar., 2013). Važna strukturna karakteristika drvenastih biljaka je longitudinalna i radijalna varijacija u anatomiji ksilema tj. opadanje gustine i povećanje dijametra traheja u radijalnom pravcu od srži ka kori (Tyree i Evers, 1991; Tyree, 2003; Christensen-Dalsgaard i sar., 2008; Li i sar., 2016), ali i suprotne promjene, postepeno sužavanje lumena i porast gustine traheja u pravcu od korijena ka nadzemnim organima (Tyree i Zimmermann, 2002; Mencuccini i sar., 2007; Anfodillo i sar., 2013; Li et al., 2019). Varijacije u dijametru traheja u cjelini utiču na provodni sistem biljaka, kao što je opisano Hagen-Poiseuilleovim zakonom (Tyree i Ewers, 1991). Čak i malo povećanje prosječnog dijametra traheja ima eksponencijalni efekat na hidrauličku provodljivost (Gonçalves i sar., 2007). Brojna istraživanja pokazala su da većina biljaka posjeduje najšire traheje u korijenu (Domec et al., 2009; Schuldt i sar., 2013), koje uzrokuju najveću hidrauličku efikasnost ksilema korijena, odnosno najveći kapacitet provođena vode. U našem istraživanju zapaženo je da su traheje korijenova klonova vrba imale manji lumen (od 308 do 780 μm^2) u odnosu na reznicu i izbojke, što se dovodi u vezu sa analizom adventivnih korjenova kao i sa dijametrom korijena prema kojem se korijenovi klonova vrba klasifikuju kao fini korijenovi sa transportnom ulogom. I pored manjeg dijametra, najviša teorijska hidraulička provodljivost ksilema korijena izračunata je kod klona bijele vrbe 'B-44' i veća je od najviše izmjerene vrijednosti od k_h reznica i izbojaka. Indeks osjetljivosti korijena na kavitaciju i embolizam je imao najveću izmjerenu vrijednost u korijenu klona 'SM4041'. Novija istraživanja nisu utvrdila da je ksilem korijena drvenastih skrivenosjemenica osjetljiviji na embolizam nego ksilem nadzemnih organa (Wu i sar., 2018), već da je jednako otporan ili čak otporniji (Losso i sar., 2019; Rodriguez-Dominguez i sar., 2018; Lübbe i sar., 2021). Smatra se da je osjetljivost korijena na embolizam ksilema ograničena samo na fine korijenove i da je veza između hidrauličke provodljivosti i kapaciteta otpornosti na embolizam korijena slaba ili uopšte ne postoji (Lübbe i sar., 2021). Treba uzeti u obzir da su klonovi vrba gajeni u eksperimentalnim uslovima staklenika, u kojima su korijenovi rasli u Mičlerlihovim posudama ograničene zapremine. Podaci o dijametru i lumeni traheja i povezanim parametrima k_h i V_i korijenova drvenastih

biljaka uzorkovanim *in situ* i na različitim dubinama zemljišta mogu dati drugačiju sliku o hidrauličkoj funkciji ksilema korijena, uzimajući u obzir razlike u dijimetru i funkciji korijenova (McElrone i sar., 2004; Wang i sar., 2016). Utvrđeno je da postoje značajne razlike između korijenova uzorkovanih iz površinskih i dubokih slojeva zemljišta u pogledu strukture ksilema, pri čemu su korijenovi iz dubokih slojeva imali deblji vaskularni cilindar, šire traheje, veći broj traheja i veću k_h u odnosu na korijenove uzorkovane u plitkom sloju zemljišta (Wang i sar., 2016).

Kod analiziranih klonova vrba anatomsko građa **izbojaka** je slična i generalno bi odgovarala opisu anatomske strukture jednogodišnjih grana *Salix caerulea* (Metcalf, 1939), mladih stabala vrsta iz roda *Salix* (Metcalf i Chalk, 1965), mladih stabala 9 vrsta *Salix* koje su detaljno uporedili Arihan i Güvenç (2011) i primarne anatomske strukture mladih vršnih segmenata grana *Salix polaris* (Słupianek i sar., 2019). Na površini izbojaka klonova vrba razvijeno je primarno pokorično tkivo, epidermis, što je karakteristika primarne građe jednogodišnjih grana vrba (Słupianek i sar., 2019). Epidermis je jednoslojan, što je u skladu sa podacima koje navode Metcalfe i Chalk (1965). Arihan i Güvenç (2011) navode da parenhimske ćelije primarnog korteksa sadrže skrob i imaju okrugao ili ovalan oblik. U parenhimu korteksa prisutni su mali intercelulari i kristalne druze, što je karakteristika mladih stabala vrba (Metcalf i Chalk, 1965). Ksilem je difuzno poroznog tipa, čine ga većinom solitarne traheje i manji broja grupa traheja koje su građene od po 2 do 4 traheje u radijalnim nizovima. Srž je okruglog oblika na poprečnom presjeku, mada se navodi da srž *Salix alba* može da ima i zvjezdast oblik (Metcalf i Chalk, 1965; Arihan i Güvenç, 2011). Radi poređenja, jednogodišnje grane *Salix caerulea* su se karakterisale petougaoim oblikom srži (Metcalf, 1939).

Posmatranjem i detaljnom analizom anatomske struktura mladih stabala različitih vrsta vrba Arihan i Güvenç (2011) su zapazili mali broj varijacija, koje su obuhvatile prisustvo/odsustvo i raspored elemenata sklerenhima u korteksu i oblik srži. Iako autori smatraju da anatomske karakteri mladog stabla, posebno korteksa, ne ukazuju na jasnu diferencijaciju različitih vrsta vrba, u ovoj disertaciji utvrđene su genotipske razlike u procentualnom učešću pojedinih tkiva izbojaka i parametara traheja. Klon 'B-44' je imao najmanji: procenat traheja u ksilemu izbojaka, broj solitarnih traheja, broj traheja u grupi i V_g . Klon 'SV068' je imao najveću procentualnu zastupljenost solitarnih traheja. Klon 'SM4041' posjeduje najsišniji i najbrojniji pojedinačne i grupisane traheje, a u vezi sa tim najmanje vrijednosti k_h i V_i .

Genotipovi vrba i topola koji su otporni na kavitaciju karakterišu se bržim rastom i većom produkcijom biomase izbojaka (Fichot i sar., 2010; Hajek i sar., 2014). Značajna redukcija hidrauličke efikasnosti i provodljivosti ksilema od korijena prema stablu i granama uzrokovana je silama trenja u elementima ksilema i gravitacijom. Da bi se održala konstantna hidraulička otpornost i provodljivost biljnog organizma posmatranog u cjelini, od baze ka vrhu, dolazi do postepenog i kontinuiranog smanjenje dimenzija trahejarnih elemenata u istom pravcu (Tyree i Zimmermann, 2002; Anfodillo i sar., 2006; Lintunen i Kalliokoski, 2010; Jacobsen i sar., 2018). Postepeno smanjenje dijametra traheja zapaženo je i na nivou izbojaka, od njihove baze ka vrhu (Anfodillo i sar., 2006; Olson i sar., 2014; Jacobsen i sar., 2018). Iako se pretpostavlja negativna veza između dijametra traheja i otpornosti na embolizam (Domec i sar., 2010; Hajek i sar., 2014), u ovom istraživanju pronađeno je da klonovi 'B-44' i 'SV068', koji su imali veći lumen traheja u izbojcima u odnosu na klon 'SM4041', imali i veći indeks otpornosti na kavitaciju i embolizam. Ogasa i sar. (2013) su utvrdili da postoji genetička razlika u pogledu hidrauličke provodljivosti izdanaka između četiri vrste roda *Salix*, od kojih je *Salix babylonica* bila najmanje otporna na kavitaciju, kao i da je visok indeks oporavka hidrauličke

provodljivosti ksilema jedna od karakteristika roda *Salix* koja nadoknađuje nisku otpornost na kavitaciju. Slično tim rezultatima, između pojedinih vrsta roda *Quercus* koje pripadaju različitim sekcijama, utvrđene su razlike u strukturi, osjetljivosti i provodljivosti ksilema, koje utiču na razlike u hidrauličkim parametrima vrsta (Robert i sar., 2017). Schumann i sar. (2019) naglašavaju da su parametri ksilema i hidraulička provodljivost izdanaka analiziranih kod tri vrste roda *Acer* pod većom genetičkim uticajem u odnosu na iste parametre stabla i listova.

Novija istraživanja ističu da se mora ponovo razmotriti veza između otpornosti na embolizam i dijametra traheja (Gleason i sar., 2016). Ističe se da drugi elementi ksilema, vlakna i parenhim, mogu imati važnu ulogu u hidrauličkoj funkciji (Bittencourt i sar., 2016).

Generalno je usvojena teorija da povećanje otpornosti ksilema na embolizam za posljedicu ima opadanje hidrauličke provodljivosti (Zimmerman, 1983; Tyree i sar., 1994; Hacke i sar., 2006; Sperry i sar., 2008). Međutim, klonovi 'B-44' i 'SV068', koji su imali veći V_i u odnosu na klon 'SM4041', imali su takođe veću k_h . Podaci o postojanju i prirodi veze između hidrauličke efikasnosti ksilema izbojaka drvenastih biljaka (kapaciteta transporta vode) i sigurnosti (kapaciteta otpornosti na embolizam) u literaturi su suprotstavljeni. Obrnuto proporcionalna veza ovih parametara utvrđena je u 2-3-godišnjim izdancima vrsta *Populus tremula* i *Populus tremuloides* (Hajek i sar., 2014) i izbojcima vrsta *Acer campestre*, *Acer platanoides* i *Acer pseudoplatanus* (Schumann i sar., 2019), dok kao i u našem istraživanju nije utvrđena u izdancima *Sequoia sempervirens* (Burgess i sar., 2005) i *Acer pseudoplatanus*, *Carpinus betulus*, *Fagus sylvatica* i *Tilia cordata* (Lübbe i sar., 2021).

Pored klasične anatomske analize, **stereološki metod** istraživanja strukture biljnih organa je veoma koristan pri procjeni procentualnog učešća različitih tkiva. Metod se bazira na procjeni volumenskih gustina tkiva kao trodimenzionalnih parametara, doprinoseći potpunijoj analizi tkiva u poređenju sa klasičnom analizom dvodimenzionalnih presjeka pojedinih segmenata organa i omogućavajući sagledavanje strukture organa kao cjeline (Zorić i sar., 2011, 2014). U literaturi nema podataka o volumenskim gustinama pojedinih organa vrba, uključujući izbojke. Istraživanja volumenskih gustina tkiva i stepena lignifikacije duž osovine stabala različitih vrsta iz familije Fabaceae provedena su u cilju procjene kvaliteta stočne hrane i optimizacije žetve (Zorić i sar., 2014, 2015).

Stereološka analiza pokazala je da između klonova vrba postoje statistički značajne razlike u volumenskim gustinama (V_v) tkiva izbojaka kontrolnih biljaka. Kod svih klonova značajno najveće V_v epidermisa i V_v intercelulara primarne kore zabilježene su u vršnom segmentu izbojaka. Varijacije u V_v ostalih tkiva izbojaka ukazale su na genotipske razlike u kambijalnoj aktivnosti i stepenu sazrijevanja pojedinih segmenata izbojaka. Slične razlike u V_v pojedinih segmenata stabla zapažene su kod različitih kultivara *Medicago truncatula* (Zorić i sar., 2014). Rezultati PCA analize pokazali su da su parametri V_v tkiva izbojaka značajno doprinosili ukupnoj varijaciji, što se može objasniti činjenicom da se parametri V_v mijenjaju sa sazrijevanjem stabla, od baze ka vrhu stabla (Zorić i sar., 2014). Najizraženije intragenotipske razlike u vrijednostima izračunatih V_v tkiva takođe su zapažene na nivou vršnog, namlađeg segmenta u odnosu na ostale, starije segmente. Diskriminantna analiza pokazala je izdvajanje klona 'B-44' na osnovu visoke V_v floema. Klon 'SM4041' se razlikovao po visokoj V_v intercelulara primarne kore i V_v sklerenhima.

U literaturi nema podataka o volumenskim gustinama pojedinih organa vrba, uključujući izbojke. Zorić i sar. (2014) ističu da je od posebnog značaja procjena stepena lignifikacije ksilema duž segmenata stabla, s obzirom na njegovu ulogu u provođenju vode. Lignin je značajna komponenta jer održava čvrstinu ćelijskog zida i omogućava mehaničku potporu ćelijama. Njegova hidrofobnost sprečava gubitak vode. Sekundarna lignifikacija ćelijskih

zidova ima ključnu ulogu u rastu i razvoju biljaka (Zhang i sar., 2021). Iako je od vitalnog značaja za opstanak biljaka, lignin ima negativan uticaj na iskorištavanje biljne biomase prilikom proizvodnje pulpe i papira (Jung i Ni, 1998). Malo je podataka o nivoima varijacije lignina u drvetu različitih genotipova vrba, posebno *Salix viminalis*, koje se intenzivno gaje za produkciju biomase i biogoriva (Perdereau i sar., 2013). Dobijeni podaci mogu imati značaj u uočavanju razlika inter- i intragenotipskih karakteristika i razlika klonova vrba, procjeni porasta izbojaka i produkciji nadzemne biomase.

Liska analiziranih klonova *Salix* spp. je dorziventralne anatomske građe, koja generalno odgovara detaljnom opisu koji su dali Metcalfe i Chalk (1965), Binns i Blunden (1980), Arihan (2003), Wilkinson (2007), Khalili i sar. (2010) i Hamzehloo i sar. (2020). Izobilateralna struktura liske, koju kod *Salix alba* navode Metcalfe i Chalk (1965), nije uočena kod klona 'B-44'. Adaksijalni epidermis je imao veću debljinu, a njegove ćelije veću površinu na poprečnom presjeku liske u odnosu na abaksijalni epidermis, što je u skladu sa opisom oba epidermisa kod 19 vrsta i 12 hibrida, uključujući *Salix alba* i *Salix viminalis* (Binns i Blunden, 1980), kod vrsta *Salix aurita* i *Salix lasiolepis* (Wilkinson, 2007), 8 vrsta i jednog hibrida *Salix* spp. (Khalili i sar., 2010), vrste *Salix fragilis* (Luković i sar., 2012). Oblik epidermalnih ćelija kod vrba varira od okruglog, preko ovalnog do tabličastog i kvadratnog (Arihan, 2003; Wilkinson, 2007). Kod analiziranih klonova vrba prosječna debljina adaksijalnog epidermisa se kretala od 16,8 do 25,7 μm , a debljina abaksijalnog epidermisa od 16,2 do 24,7 μm . Radi poređenja, kod drugih vrsta roda *Salix* debljina adaksijalnog epidermisa je iznosila od 0,011 do 0,021 mm, a debljina abaksijalnog epidermisa od 0,001 do 0,01 mm (Khalili i sar., 2010), što je manje od vrijednosti izmjerenih u ovom radu. Metcalfe i Chalk (1957) su utvrdili prisustvo hipodermisa ispod abaksijalnog epidermisa u liskama *Salix alba* i *Salix babylonica*. Khalili i sar. (2010) takođe razlikuju dva tipa liske kod različitih vrsta roda *Salix* prema prisustvu ili odsustvu hipodermisa. Debljina liske na 1/4 širine kod analiziranih klonova vrba kretala se u rasponu od 136 do 208 μm i bila je veća od debljine u granicama od 97 do 141 μm , koliko je izmjereno kod ukupno 6 kultivara vrba, uključujući 4 kultivara *Salix viminalis* (Patton i Jones, 1989) i 139 μm kod vrste *Salix fragilis* (Luković i sar., 2012). Debljina liske na centralnom nervu iznosila je od 580 do 884 μm , dok se kod 9 različitih vrsta *Salix* kretala u širim granicama od 0,36 do 1 mm (Khalili i sar., 2010).

Binns i Blunden (1980) navode da je hlorenhim (autori tkivo označavaju mezofil) vrba građen od palisadnih ćelija raspoređenih u najviše pet slojeva, sa malo ili bez sunderastog tkiva i sa dobro razvijenim hipodermisom. Isti autori prema stepenu diferencijacije razlikuju 3 glavna tipa hlorenhima, pri čemu je tip A okarakterisan kod *Salix alba*: 5 slojeva palisadnih ćelija, bez sunderastog tkiva, sa/bez abaksijalnog hipodermisa. Kod *Salix babylonica* takođe hlorenhim označavaju kao tip A, dok kod *Salix viminalis* navode tip B/C. Međutim, kod svih analiziranih klonova bi struktura hlorenhima odgovarala tipu C ili prelaznom tipu B/C, sa diferenciranim sunderastim tkivom. Diferencijaciju mezofila na palisadno i sunderasto tkivo u liski *Salix alba* zapazio je i Arihan (2003), ali ne i kod *Salix babylonica*, gdje je razvijen samo višeslojni palisadni parenhim. U liskama muških i ženskih jedinki *Salix viminalis* zapažena je diferencijacija mezofila na dvoslojan kompaktan palisadni parenhim i rastresit sunderasti parenhim sa 2-3 sloja ćelija (Zhai i sar., 2020). Wilkinson (2007) navodi da je kod vrsta *Salix aurita* i *Salix lasiolepis* sunderasto tkivo građeno od veoma kompaktnih ćelija koje su svojim pravougaonim oblikom slične palisadnim ćelijama. Kod analiziranih genotipova vrba sunderasto tkivo je bilo deblje, ali su ćelije imale manju površinu u odnosu na palisadno tkivo, što je u skladu sa ovim parametrima izmjerenim kod *Salix fragilis* (Luković i sar., 2012).

Ćelijske inkluzije liske obuhvataju kristalne druze rasute u sunderastom parenhimu, što je karakteristika liske mnogih vrba (Metcalfe i Chalk, 1957; Arihan, 2003; Wilkinson, 2007).

Opis liske u regionu centralnog nerva generalno odgovara opisu koji je dao Arihan (2003) za 9 različitih vrsta vrba, uključujući *Salix alba* i *Salix babylonica*, koja se imenuje i kao *Salix matsudana* u Flori Kine (1999).

Analizom anatomskih karaktera liske utvrđeno je da se klon 'SM4041' od preostala dva genotipa razlikuje najbolje razvijenim tkivima, površinom i debljinom liske. Analiza PCA pokazala je da anatomski karakteri liske variraju na sličan način, zbog čega ne doprinose ni jasnoj diskriminaciji klonova.

U radu je dat opis anatomske građe lisne drške na poprečnom presjeku, koja generalno odgovara opisu lisne drške koji su dali Metcalfe i Chalk (1965). Ovi autori navode da kod oba roda iz familije Salicaceae (rodovi *Populus* i *Salix*) u bazu lisne drške ulaze tri provodna snopića, prema distalnom kraju prelaze u jedan ili dva prstena ksilema i floema. Ovakav opis zapravo odgovara bilateralnim snopićima koji isti autore navode za glavni nerv liske roda *Salix*.

Detaljan, komparativan opis anatomske građe lisne drške kod 23 vrsta iz roda *Salix* dali su Hamzehloo i sar. (2020), ukazujući na značaj anatomske građe drški u diferencijaciji i identifikaciji vrsta i podvrsta vrba. Isti autori ukazuju na intraspecijsku varijabilnost kvantitativnih karaktera lisnih drški, npr. debljine lisnih drški kao i debljine različitih tkiva drški što je posljedica uticaja faktora sredine. S druge strane kvalitativni karakteri analiziranih vrsta iz roda *Salix* kao što su oblik i površina, pokazali su značajnu intraspecijsku konzistentnost, tj. bili su specifični za svaku vrstu. Horizontalno spljošten oblik lisne drške kod vrsta roda *Salix* (izuzev kod *Salix viminalis*) jasno se razlikovao od vertikalno spljoštenog oblika kod roda *Populus* i imao je ulogu u jasnoj diferencijaciji ova dva roda koji pripadaju istoj familiji Salicaceae (Hamzehloo i sar., 2020).

Kod analiziranih genotipova vrba lisna drška je na poprečnom presjeku uglavnom okrugla. U centralnom dijelu se uočavaju dva naspramno postavljena bikolateralna provodna snopića. Ispod epidermisa prisutan je kolenhim, anularnog tipa, prema podjeli i opisu histoloških tipova kolenhima (Leroux, 2012). U parenhimu su prisutne kristalne druze, koje su vidljive u lisnoj dršci mnogih vrsta vrba (Wilkinson, 2007). Anatomska građa lisne drške analiziranih klonova se većinom podudara sa detaljnim opisom koje navode Hamzehloo i sar. (2020). Prema ovim autorima, oblik lisne drške *Salix alba* je okrugao, ima glatku površinu, horizontalno je spljoštena, adaksijalna površina je konveksna, nema bočnih rebara, prisutan je jedan, kontinuirano ovalan provodni snopić. Kod *Salix viminalis*, oblik lisne drške je okrugao a površina je glatka do rebrasta, spljoštena je vertikalno; adaksijalna površina je konveksna, prisutna su bočna rebra a u dršci se nalazi jedan „kontinuirano ovalan“ (engl. „continuously oval“, Hamzehloo i sar., 2020) provodni snopić. Vrsta *Salix babylonica* ima ovalan oblik lisne drške sa rebrastom površinom, horizontalno je spljoštena, na adaksijalnoj površini je zaravnjena, bez bočnih rebara; ima jedan do 2 provodna snopića, isprekidanog kružnog oblika. Wilkinson (2007) navodi da lisna drška nekih vrsta vrba može da ima objajast ili polumjesečast oblik sa tri režnja i tri provodna snopića.

6.2. Uticaj Cd na anatomsku građu vegetativnih organa klonova vrba

Brojne studije istraživale su uticaj PTE na različite anatomske osobine vegetativnih organa biljaka (Khudsar i sar., 2001; Lux i sar., 2004, 2011; Panou-Filothou i Bosabalidis, 2004; Kasim, 2006; Luković i sar., 2012). Visoke koncentracije PTE u zemljištu utiču na rast biljaka, razvoj, proizvodnju biomase i takođe mogu da izazovu promjene u anatomskim osobinama vegetativnih organa (Lunáčková i sar. 2003/4; Kim i sar. 2003; Vandecasteele i sar., 2005; Maksimović i sar., 2007; Seregin i Kozhevnikova, 2008; Gomes i sar., 2011; Parmar i

sar., 2012; Batool i sar., 2014). Efekti PTE na anatomiju i morfologiju biljnih organa su složeni, imajući u vidu razlike između organa, njihov kapacitet akumulacije i dinamiku izloženosti (Sebastiani i sar., 2014). Morfo-anatomske adaptacije i promjene anatomskih karakteristika su osnova strategije biljaka za opstanak u uslovima povećane toksičnosti u životnoj sredini izazvane prisustvom PTE (Kasim 2006; Grigore i Toma 2007; Gharge i Menon 2017). Zadebljala kutikula na epidermisu, povećan broj korijenskih dlaka, povećana gustina stoma, povećana zona vaskularnih tkiva, formiranje aerenhima i povećano zadebljanje zidova sklerenhima smatraju se glavnim karakteristikama biljaka izloženih stresu izazvanim PTE (Kovačević i sar., 1999; Maksimović i sar., 2007).

Odgovor biljaka na stres uzrokovan povišenim koncentracijama PTE zavisi od mnogo faktora: tipa supstrata na kojem biljka raste, osobina elementa koji je prisutan u supstratu ili pod čijim je biljka dejstvom i koncentracije u kojoj djeluje na biljke, međudejstva kompleksnih fizioloških i biohemijskih procesa u biljnim organima, tkivima i ćelijama (Sebastiani i sar., 2014; Pandey i sar., 2022), kao i osobina samih vrsta koje promjenama morfoloških i anatomskih karakteristikama reaguju na prisustvo PTE (Alfaraas i sar., 2016; Minkina i sar., 2018).

Anatomske karakteristike biljnih organa pod uticajem stresa uzrokovanog PTE često se zanemaruju ili su slabije istražene u poređenju sa morfofiziološkim i biohemijskim parametrima (Nagajyoti, i sar., 2010; Rucińska-Sobkowiak, 2016; Yadav i sar., 2020). U nadzemnim organima Cd izaziva usporavanje rasta i hlorozu kao najuočljivije simptome toksičnosti (Gratão i sar., 2009; Kabata-Pendias, 2011; Gallego i sar., 2012; Jali i sar., 2016). Fitotoksičnost Cd je posljedica negativnog uticaja na metaboličke procese u biljkama (Adriano, 2001). Kadmijum inhibiše vezivanje atoma ugljenika, smanjuje sadržaj hlorofila i redukuje fotosintetičku aktivnost (Vassilev i sar., 2005; Hermle i sar., 2007; Pietrini, 2008; Pajević i sar., 2009; Gallego i sar., 2012). Toksičnost Cd izaziva prekomjernu proizvodnju reaktivnih vrsta kiseonika, koje izazivaju oksidativni stres, oštećenje strukture biljnih membrana, organela i DNK (Hermle i sar., 2007; Abbas i sar., 2017; Shah i sar., 2019). Kadmijum uzrokuje osmotski stres u biljkama, jer remeti vodni režim (Rucińska-Sobkowiak, 2016).

Drvenaste vrste iz roda *Salix* posjeduju osobinu visoke produkcije nadzemne biomase, uz istovremenu visoku efikasnost u uklanjanju PTE prisutnih u zemljištu u visokim koncentracijama, što je dokazano u brojnim istraživanjima (Pulford i Watson, 2003; Kuzovkina i sar., 2004; Dos Santos Utmazian i sar., 2007; Zacchini i sar., 2009; Pilipović i sar., 2019). Istraživanja su takođe ukazala da je reakcija biljaka na prisustvo PTE u velikoj mjeri zavisna od genotipa (Guerra i sar., 2011), što važi i za vrbe (Pilipović i sar, 2019). Klonovi vrba istraženi u našem eksperimentu izabrani su u skladu sa visokom proizvodnjom biomase, svojstvom dobrog uklanjanja Cd iz umjereno zagađenih zemljišta i specifičnom reakcijom klonova na visoke koncentracije Cd (Arsenov i sar., 2017, 2019).

Osim što omogućava kretanje vode i nutrijenata transpiracionim tokom iz pravca korijena ka listovima, stablo takođe omogućava translokaciju PTE usvojenih korijenom koji najčešće negativno djeluju na organizaciju tkiva stabla, uzrokujući promjene u njihovoj anatomskoj strukturi (Batool i sar., 2014; Yadav, 2021). Generalno, uticaj Cd ali i drugih PTE na anatomske karakteristike stabla ogleda se u smanjenju dijametra (Sresty i Rao, 1999; Tanentzap i Ryser, 2015; Liza i sar., 2020; Pilipović i sar., 2020), sklerifikaciji i dezintegraciji korteksa i vaskularnih tkiva, stvaranju depozita u parenhimskim ćelijama srži i kristala u parenhimu srži (Batool i sar., 2014). Raspodjela Cd u biljnom tkivu predstavlja pokazatelj aktivacije mehanizama odbrane na povećan sadržaj metala (Arsenov, 2019). Visoka mobilnost PTE i

njihovo premještanje u nadzemne organe imaju ključnu ulogu u odabiru vrsta za proces fitoekstrakcije (Tózsér i sar., 2018).

Prema dostupnoj literaturi, postoji mali broj podataka o distribuciji PTE, uključujući Cd, u **stablu** vrsta roda *Salix* (Sander i Ericsson 1998; Punshon i sar., 2005) i njihovom uticaju na pojedina tkiva stabla (Rypińska i Biegańska, 2014). Rezultati ove disertacije su pokazali varijabilnost posmatranih anatomskih karaktera reznice u zavisnosti od odabranog klonu i primjenjene koncentracije kadmijuma. Tretmani Cd nisu doveli do pojave vidljivih simptoma toksičnosti reznica, poput hloroze i nekroze, što potvrđuje rezistentnost odabranih klonova na povećane koncentracije Cd, što su potvrdili i rezultati fizioloških istraživanja na istim klonovima (Arsenov, 2019).

U našem istraživanju se pokazalo da je uticaj dvije povećane koncentracije Cd na periferna tkiva reznica zavisio od koncentracije Cd, analiziranog segmenta (podzemni ili nadzemni), kao i od samog genotipa. U nadzemnom i podzemnom segmentu reznice klonu 'B-44' zabilježeno je povećanje proporcija periderma i korteksa nadzemnog segmenta u prisustvu Cd. Klonovi 'SV068' i 'SM4041' su na tretman Cd reagovali smanjenjem procentualnih udjela perifernih tkiva. Podzemni segmenti reznice tri klonova vrba su na oba primjenjena tretmana Cd reagovali smanjenim procentualnog udjela primarne kore.

Uticaj Cd na periferna tkiva stabla vrba može se dovesti u vezu sa koncentracijama elemenata koje su generalno veće u kori stabla nego u drvetu klonova vrba koji se tradicionalno gaje radi primjene u fitoekstrakciji PTE iz zagađenih zemljišta (Maxted i sar., 2007; Zarubova i sar., 2015). Rezultati Rypińska i Biegańska (2014) su pokazali da kora vrste *Salix americana* ima ulogu u uklanjanju jona PTE iz vodenog rastvora.

Promjene proporcija perifernih tkiva klonova vrba pod dejstvom Cd mogu se objasniti činjenicom da postoje varijacije u kapacitetu pojedinih tkiva nadzemnih organa vrba u akumulaciji Cd, što je potvrđeno kod *Salix viminalis* (Mleczek i sar., 2009). Konstantno veća koncentracija Cd tokom sezone rasta izmjerena je u kori klonova vrba *Salix fragilis* i *Salix triandra* u odnosu na drvo (Mertens i sar., 2006). Na početku vegetacione sezone vrbe se odlikuju vigoroznim rastom nadzemnih organa i korijenovim sistemom koji se brzo razvija i apsorbuje PTE, dovodeći do njihove progresivne akumulacije u nadzemnim organima i tkivima, što za posljedicu ima reakciju tkiva na prisustvo metala, uključujući Cd (Dinelli i Lombini, 1996).

Promjene anatomskih parametara ksilema i traheja nadzemnog segmenta reznice, ukazuju na reakciju istraženih genotipova vrba na prisustvo dvije različite koncentracije Cd. Tretman Cd 3 imao je izraženiji pozitivni efekat na broj i površinu traheja, uzrokujući značajno povećanje broja sitnijih, pojedinačnih i smanjenje broja krupnih, grupisanih traheja. Parametri grupisanih traheja bili su osjetljivi na dejstvo Cd 6, koji je izazvao smanjenje njihove površine i broja, kao i broja grupa traheja. U podzemnom segmentu reznica klonova vrba, oba tretmana Cd imali su negativno dejstvo na karaktere grupisanih traheja klonu 'B-44', dok je uticaj tretmana kod klonova 'SV068' i 'SM4041' bio suprotan. Izraženije je pozitivno dejstvo Cd 3 na parametre i pojedinačnih i grupisanih traheja, dok je Cd 6 uzrokovao značajno smanjenje površine grupnih traheja. U podzemnom segmentu reznica nije došlo do značajnog odstupanja k_h i V_i bez obzira na klon i primjenjen tretman, što može da ukaže da reakcija tkiva reznice zavisi od segmenta, tj. od nivoa uzorkovanja.

Radi poređenja, de Silva i sar. (2012) su utvrdili da se uticaj povećanih koncentracija PTE na karakteristike ksilema u stablu *Acer rubrum* ogleda u smanjenoj proporciji ksilema, redukovanom dijametru i gustini traheja, kao i smanjenoj hidrauličkoj provodljivosti ksilema

stabla. U našem istraživanju uticaj tretmana Cd 3 na značajno smanjenje vrijednosti k_h i povećanje V_i najizraženiji je kod klonu 'B-44'. Koncentracija od Cd 6 je imala suprotan efekat povećanja ovog parametra. To je posljedica značajnog povećanja broja sitnijih, pojedinačnih traheja po mm^2 ksilema i smanjenog broja grupisanih traheja koje su imale značajno povećane površine. Kod klonu SV068 samo tretman Cd 6 je uzrokovao značajno smanjenje k_h u odnosu na kontrolu, a indeks osjetljivosti je bio signifikantno povećan samo u uslovima Cd 3. Kod trećeg genotipa, SM4041, parametri teoretske hidrauličke provodljivosti i indeksa osjetljivosti nisu značajno odstupali od kontrole, bez obzira na primjenjen tretman Cd.

Promjene u anatomskoj građi stabla i hidrauličkim parametrima ksilema mogu da ukažu na sposobnost biljaka da se adaptiraju na povećan sadržaj PTE u životnoj sredini promjenama strukture pokoričnih tkiva, parenhima korteksa i ksilema stabla. Smanjena površina ćelija epidermisa i korteksa, povećanje površine sklerenhimskih ćelija i metaksilemskih elemenata navode se kao glavne anatomske promjene u stablu pod uticajem Cd (Batool i sar., 2014). Na primjer, anatomske promjene stabla kod vrste *Brassica juncea*, kao posljedica usvajanja i akumulacije Cd i Zn obuhvatile su stvaranje tamnih depozita ovih elemenata u ćelijskim zidovima ksilema i floema (Sridhar i sar., 2005). U stablu *Sorghum bicolor* Cd i Cu su uzrokovali značajnu redukciju površine ćelija parenhima, veličine provodnih snopića i dimenzija metaksilemskih sudova (Kasim, 2006). PTE takođe uzrokuju razaranje ćelijskih zidova ksilemskih elemenata (Parrotta i sar., 2015). Usvajanje i akumulacija Cd iz kontaminisanog zemljišta izazvalo je promjene anatomskih parametara u stablu podmlatka *Acer velutinum* gdje je broj traheja po mm^2 bio najosjetljiviji parametar (Shahpoori i sar., 2012). Anatomske karakteristike stabla koje ukazuju na reakciju na PTE su postojanje intercelulara u korteksu i smanjen dijametar traheja (Al-Saadi i sar., 2013). Chaudhari i sar. (2016) navode poremećenu diobu i abnormalno povećanje veličine ćelija korteksa stabla, kao i lignifikaciju ćelija parenhima srži. Varijacije koje predstavljaju mehanizam adaptacije na faktore stresa kao što su PTE su promjene u dijametru ćelija parenhima srži, broja kamenih ćelija i redukovana zona korteksa (Gharge i Menon 2017). Akcin i sar. (2018) utvrdili su da PTE uzrokuju povećanje dijametra parenhimskih ćelija, promjene oblika i veličine kortikalnih parenhimskih ćelija, smanjenje zadebljanja ćelijskih zidova sklerenhima i manji dijametar traheja.

Višak PTE uzrokuje smanjenje brzine transpiracije i stomatalne otpornosti (Barcelo i Poschenrieder, 1990). U uslovima povećanih koncentracija PTE očekuje se da smanjeni anatomske parametri stabla i niža hidraulička provodljivost ksilema uzrokuju i smanjen protok vode od korijena ka izdancima, ali kako je kod *Acer rubrum* utvrđeno da nema promjena u fiziološkom parametru relativnog sadržaja vode u listovima (RWC), pretpostavka je da biljke na neki način premošćavaju negativan uticaj stresa izazvanog PTE i održavaju svoj vodni režim (De Silva i sar. 2012). Na primjer, kod *Quercus suber* uticaj suše na fotosintezu, stomatalnu provodljivost i relativni sadržaj vode bio je ublažen prisustvom visokih koncentracija Zn (Disante i sar., 2011). Prije pojave vidljivih simptoma poremećenog vodnog režima pod uticajem PTE, smatra se da u biljnim tkivima dolazi do pojave kaskade kompleksnog niza procesa adaptacije koji uključuju povećanu vakuolizaciju u korijenu, fosforilaciju proteina aktivnosti akvaporina u korijenu pod uticajem abscisinske kiseline, uticaj niza biljnih hormona, ali ovi mehanizmi nisu dovoljno istraženi i još uvijek ne daju jasnu sliku prilagođavanja biljnih tkiva na deficit vode izazvan PTE (Rucinska-Sobkowiak, 2016).

Voda je glavni limitirajući faktor u produkciji biomase vegetativnih organa vrba (Lindroth i Cienciala, 1996) koja akumuliraju značajne koncentracije PTE, uključujući Cd (Nylund, 2003). Vodni režim vrba uslovljen anatomskim karakteristikama ksilema značajno utiče na usvajanje i translokaciju teških metala od korijena ka nadzemnim organima (Greger,

2005). Nedavna istraživanja ukazuju da reakcija biljaka na stres izazvan prisustvom PTE u suštini predstavlja reakciju na sušu i nedovoljno snabdijevanje vodom (Rucińska-Sobkowiak, 2016). PTE usporavaju transport vode u simplastu i apoplastu, što dovodi do smanjenog kretanja vode u vaskularnom tkivu i snabdijevanja izdanaka vodom; uzrokuju smanjenje proporcije ksilema; dovode do smanjenja dimenzija provodnih elemenata i djelimičnu blokadu njihovog lumena (Lamoreaux i Chaney, 1977). Povećanje gustine traheja u stablu dovodi do povećanja obima ksilema i može da se dovede u vezu sa povećavanjem vodnog kapaciteta kojim se djelimično kompenzuje veća podložnost stabla ksilemskoj emboliji (Li i sar., 2016.).

Pozitivna procentualna odstupanja anatomskih parametara nadzemnog segmenta reznica klonova vrba u prisustvu Cd 3 bila su najizraženija kod genotipa *Salix viminalis*, zatim kod *Salix alba* i na kraju kod *Salix matsudana*. U srodnom istraživanju promjena morfometrijskih parametara istih konova vrba i indeksa tolerancije pod uticajem povećanih koncentracija Cd, najveći indeks tolerancije zabilježen je kod *Salix matsudana*. Indeks tolerancije pokazao je da se vrste *Salix matsudana* i *Salix viminalis* mogu definisati kao visoko tolerantne vrste, dok se prema indeksu tolerancije *Salix alba* karakterisala kao umjereno do visoko tolerantna vrsta (Arsenov, 2018). Tretmani Cd 3 i Cd 6 su kod istih genotipova vrba imali negativan uticaj na morfometrijske parametre, visinu i masu reznica. Najveći procenat smanjenja morfometrijskih parametara reznica u prisustvu Cd 6 zabilježen je kod *Salix matsudana*. Različite vrste vrba i različiti varijeteti jedne iste vrste odlikuju se značajnim variranjem u pogledu usvajanja i tolerancije PTE u tkivima stabla, što utiče na njihove osobine rasta u prisustvu metalnih kontaminanata (Greger i Landberg 1999; Kuzovkina i sar., 2004; Evlard i sar., 2014). Baltrėnas i Ćepanko (2009) detaljno su istražili akumulaciju razliĉitih elemenata u razliĉitim segmentima (vršnom, srednjem i donjem segmentu) stabla vrste *Salix dasyclados*. Njihovi rezultati pokazali su da su razlike u kapacitetu akumulacije elemenata između pojedinih segmenata zavisile od stepena lignifikacije i hemijskog oblika u kome je element prisutan. Akumulacija PTE bila je najuspješnija u donjem, lignifikovanom segmentu reznice. Wang i sar. (2016) su utvrdili da je uticaj PTE (Cd, Cu, Pb i Zn) na rast i akumulaciju metala u reznicama *Salix fragilis*, *Salix matsudana* i *Salix babylonica* zavisio je od pozicije uzimanja segmenata za formiranje reznica sa roditeljskog stabla. Reznice koje potiču od apikalnog segmenta roditeljskog stabla imale su slabiji rast i veći sadržaj metala u odnosu na reznice porijeklom od bazalnog dijela stabla, što je uzrokovano njihovom nezrelom strukturom koja nije dovoljno razvijena da bi bila otporna na oštećenja uzrokovana PTE. Autori su takođe utvrdili da *Salix matsudana* vjerovatno posjeduje poseban mehanizam odbrane koji spreĉava PTE da ometaju rast reznica, što po svoj prilici uključuje tendenciju ove vrste da zadržava više akumulisanog metala na nivou reznica umjesto daljeg transporta prema izbojcima. Biosinteza i akumulacija lignina u stablu i izdancima ima zaštitnu ulogu od stresa izazvanog PTE (Han i sar., 2022). Sadržaj lignina i depozicija elemenata u tkivima biljaka generalno se povećavaju u prisustvu visokih koncentracija PTE, tako da povećan sadržaj lignina dovodi do smanjenja koncentracija PTE (Bhardwaj i sar., 2013), na šta je ukazalo povećanje sadržaja lignina u stablu *Populus × canescens* u prisustvu Cd (Elobeid i sar., 2012). Ove promjene povezane su sa taloženjem lignina u ćelijskim zidovima, koji zadebljavaju i imaju ulogu u kompartmentaciji Cd, što je jedan od mehanizama tolerancije stresa izazvanog viškom Cd u reznicama vrba (Yu i sar., 2023).

Korijen je primarni biljni organ koji usvaja PTE i ima značajnu ulogu u detoksifikaciji, toleranciji i ograniĉavanju translokacije elemenata ka nadzemnim organima, učestvujući u stabilizaciji i uklanjanju PTE iz supstrata (Vaculík i sar., 2012; Yan i sar., 2020). Sposobnost vrba da rastu na zemljištima sa povećanim koncentracijama Cd generalno se nalazi u vezi sa sposobnošću njihovih korijena da akumuliraju visoke koncentracije Cd (Gonçaves i sar., 2007;

Luković i sar., 2012) Međutim, anatomska struktura korijena genotipova vrba koji rastu u uslovima stresa je slabo istražena i opisana.

Dosadašnja istraživanja su ukazala na promjene u anatomskim osobinama rizodermisa, korteksa, egzodermisa, endodermisa, sklerenhima, Kasparijevog pojasa i ksilema korijena biljaka izloženih višku PTE (Hose i sar., 2001; Enstone i sar., 2003; Lux i sar., 2004, 2011; Gomes i sar., 2011; Vaculik i sar., 2012). Povećanje broja korijenovih dlaka i površine provodnog tkiva, stvaranje aerenhima u korteksu i zadebljanje sklerenhima smatraju se glavnim karakteristikama korijena biljaka izloženih stresu izazvanim PTE (Kovačević i sar., 1999; Maksimović i sar., 2007).

Toksično dejstvo Cd na fiziološke, morfološke i anatomske parametre korijena ispoljava se u vidu usporenog rasta (Šottniková i sar., 2003; Isaure i sar., 2006; Máthé-Gáspár i sar., 2006), smanjenja dužine uz povećanje dijametra korijena i redukcije svježe i suve biomase korijena (Vassilev i sar., 2002; Kuzovkina i sar., 2004; Lux i sar., 2004; Vaculík i sar., 2012; Gratão i sar., 2009; Ismael i sar., 2018). Kadmijum negativno utiče na ontogenezu apoplastnih barijera korijena (egzo- i endodermisa) (Lux i sar., 2004), uzrokujući njihovo ubrzano sazrijevanje i formiranje bliže vrhu korijena (Lunáčková i sar., 2003/2004; Lux i sar., 2004, 2010; Váculík i sar., 2012; Balestri i sar., 2014). Najuočljivije promjene u anatomiji korijena, izazvane povećanim koncentracijama Cd obuhvataju: dezintegraciju rizodermisa sa korijenovim dlačicama i spoljašnjih slojeva korteksa, pojavu nepravilnih intercelulara u primarnom korteksu, zadebljanje egzo- i endodermisa, ubranu suberinizaciju i lignifikaciju tkiva i promjene u dimenzijama ćelija primarnog parenhima, pericikla i provodnih tkiva korijena (Lunáčková i sar., 2003; Lux i sar., 2004; Vaculík i sar., 2012; Lu i sar., 2013; Hrkić Ilić i sar., 2020). Uz oštećenje spoljašnje i unutrašnje strukture korijena dolazi i do smanjenja hidraulične provodljivosti korijena (Adriano, 2001; Lu i sar., 2013). Stvaranje depozita Cd u korteksu korijena predstavlja strategiju detoksikacije, smanjenja negativnih efekata Cd i povećanja nivoa tolerancije na prisustvo Cd (Yang i sar., 2015; Hrkić Ilić i sar., 2020).

Dostupni podaci o značajnim negativnim efektima povećanih koncentracija Cd na veličinu i oblik ćelija korijena i relativnu proporciju tkiva uglavnom se odnose na primarnu anatomsku građu korijena različitih vrsta, varijeteta i klonova vrba (Lux i sar., 2004; Hrkić Ilić i sar., 2020; Yan i sar., 2020). Varijabilnost anatomskih karakteristika korijena vrba i promjene parametara korijena do kojih dolazi pod uticajem povišenih koncentracija Cd (Hrkić Ilić i sar., 2020) značajne su za opstanak biljaka izloženih efektima toksičnosti PTE (Hamim i sar., 2018). Mnoge od ovih promjena primarne anatomske strukture korijena su specifične za klonove različitih vrsta roda *Salix* koji iskazuju i razlike u karakteristikama akumulacije i tolerancije Cd (Lux i sar., 2004). S druge strane, podaci o uticaju različitih koncentracija Cd i drugih PTE na sekundarnu anatomsku građu korijena vrba veoma su oskudni, iako ukazuju na značaj sekundarnog ksilema korijena u akumulaciji Cd (Lux i sar., 2004; Vaculik i sar., 2012; Hrkić Ilić i sar., 2020). Naši rezultati su pokazali da nije došlo do nekrotičnih promjena korijenova tri klona vrba, iako su oni rasli u uslovima povećanih koncentracija Cd. Podaci prikazani i analizirani u ovoj disertaciji ukazuju da primjenjeni tretmani Cd uzrokuju različit anatomski odgovor korijena vrba na povećane koncentracije Cd, koje su zavisile od klona, koncentracije Cd i vremena izloženosti. Na početku tretmana kod klonova 'B-44' i 'SM4041' gajenih u prisustvu obe primjenjene koncentracije Cd, površina poprečnog presjeka korijena bila je značajno veća u poređenju sa kontrolnim uzorkom. Kod klona 'B-44' ovo povećanje se može dovesti u vezu sa povećanim ukupnim lumenom traheja, kao i lumenom i dijametrom pojedinačnih traheja u odnosu na kontrolu. Kod klona 'SM4041' slično povećanje površine korijena na poprečnom presjeku dovodi se u vezu sa povećanjem traheja čiji se dijametar nalazi u klasi 20-40 µm, tzv. grupa II. Srodno istraživanje ukazuje na značajno povećanje površine

korijena *Salix nigra* klon '0408' na poprečnom presjeku u prisustvu koncentracije 10^{-4} M Cd (Hrkić ilić i sar., 2020). Povećana površina korijena na poprečnom presjeku koja se povezuje sa povećanim dijametrom, gustom i ukupnim lumenom traheja kod klonova 'B-44' i 'SM4041' izloženih tretmanu Cd, ukazuje da korijenovi većeg dijametra posjeduju veći broj traheja u poređenju sa kontrolom. Malo, ali značajno opadanje površine korijena na poprečnom presjeku u prisustvu Cd 3, zapaženo kod *Salix viminalis* klon 'SV068' uzrokovano je redukcijom proporcionalne zastupljenosti sekundarnog korteksa i drveta, gustine i ukupnog lumena traheja. Slično tome, značajna redukcija površine korijena na poprečnom presjeku pod uticajem tretmana 10^{-4} M i 10^{-5} M Cd zapažena je u korijenovima *Salix alba* klon '68/53/1' (Hrkić Ilić i sar., 2020) i kod klona topole 'B-81' u prisustvu 10^{-7} M Cd (Luković i sar., 2005).

Literaturni podaci o anatomskim i hidrauličkim osobinama korijenovog sistema vrba pod uticajem PTE takođe su oskudni (Almeida-Rodríguez i sar., 2016; Tyree i Ewers, 1991; Vercambre i sar., 2002; Scholz i sar., 2013). Varijacije u anatomiji ksilema i hidrauličkim osobinama javljaju se i na inter- i na intraspecijskom nivou (Tyree i Ewers, 1991; Ogasa i sar., 2013). Traheje korijena se smatraju najboljom determinantom hidrauličnih razlika između i unutar vrsta (McElrone i sar., 2004). Apsorpcija, akumulacija i tolerancija Cd na nivou korijena *Salix jiangsuensis* 'J172' (Chen et al., 2013) i *Salix matsudana* var. *matsudana* f. *umbraculifera* (Yu i sar., 2023) povezana je sa zadebljanjem ćelijskih zidova usljed povećane biosinteze lignina indukovane Cd stresom.

PTE mogu uticati na hidrauličku provodljivost korijena (Shah i sar., 2010) ali je svega u nekoliko istraživanja obraćena pažnja na uticaj anatomskih promjena, koje nastaju kao posledica dejstva PTE, uključujući Cd, na hidrauličke osobine korijena (Gomes i sar., 2011; De Silva i sar., 2012; Rucińska-Sobkowiak, 2016). Usporeno izduživanje korijena, poremećen sekundarni rast, povećano odumiranje korijena, smanjenje broja korijenskih dlačica, zadebljanje slojeva ćelija endodermisa i egzoderma, opadanje volumena ksilema, veličine traheja i hidrauličke provodljivosti u korijenu, smatraju se posljedicom uticaja Cd na apsorpcionu zonu korijena (De Silva i sar., 2012; Rucińska-Sobkowiak, 2016).

Anatomska struktura korijena tri klona vrba pokazuje interspecijske razlike u odgovoru na toksičnost Cd. Rezultati našeg istraživanja ističu da su koncentracije Cd 3 i Cd 6 imale suprotan efekat na parametre drveta i traheja u korijenovima sva tri analizirana klona, u odnosu na kontrolu. U korijenovima klonova 'B-44' i 'SV068', oba tretmana Cd uzrokovala su povećanje lumena i dijametara pojedinačnih traheja. Manji broj signifikantnih odstupanja parametara solitarnih traheja od kontrole utvrđen je kod klona 'SM4041', gdje je tretman Cd 6 uzrokovao značajno smanjenje, a tretman Cd 3 značajno povećanje lumena i dijametara traheja. Prethodna istraživanja su potvrdila da suvišak Cd uzrokuje raniju diferencijaciju ksilema (Balestri i sar., 2014), sitnije traheje i manju gustinu traheja (Schume i sar., 2004; De Silva i sar., 2012). U korijenovima tri klona vrba, dijametar traheja se pokazao kao osjetljiviji parametar na stres uzrokovan Cd, nego gustina traheja, što je u suprotnosti sa prethodnim istraživanjima (Schume i sar., 2004; Mrak i sar., 2021).

Tendencije promjena anatomskih parametara korijena klonova vrba tokom trajanja tretmana sa dvije različite koncentracije Cd odnosile su se na većinu analiziranih karaktera, ali su statistički značajna odstupanja od kontrole u drugoj fazi uzorkovanja zabilježena za manji broj karaktera nego u prvom uzorku, uglavnom za procentualnu zastupljenost traheja u pojedinim klasama dijametara. Ove promjene zavisile su i od genotipa i koncentracije Cd.

U trećoj fazi eksperimenta, tretmani Cd 3 i Cd 6 uzrokovali su najmanje odstupanja anatomskih parametara korijena klonova vrba, koje se zapažaju u vidu promjena površine ćelija parenhima korteksa korijena, lumena traheja i zastupljenosti najkrupnijih traheja.

Dobijeni podaci ukazuju da su parametri traheja tokom vremenskog raspona uzorkovanja bili najosjetljiviji anatomske karakteri u sekundarnoj strukturi adventivnih korijena vrba na tretman sa dvije povećane koncentracije Cd, u odnosu na proporcionalnu zastupljenost pojedinih tkiva korijena koja su manje varirala pod uticajem Cd.

Hidraulička provodljivost ksilema korijena klonova *Salix* je parametar od posebnog interesa. Većina istraživanja se fokusirala na anatomske i hidrauličke osobine stabla i izbojaka drvenastih vrsta, dok su ove osobine korijena bile predmet tek nekoliko studija (McElrone i sar., 2004; Domec, 2010; Zorić i sar., 2012; Schuldt, 2013). Transport vode i drugih molekula u biljnim organima i tkivima je pod značajnim uticajem anatomske karaktere ksilema korijena (Schuldt i sar., 2013; Kirfel i sar., 2017). Anatomske promjene u strukturi korijena, posebno promjene veličine i dijametra traheja imaju značajnu ulogu u preživljavanju drvenaste biljke u uslovima stresa (Freschet i sar., 2021). Uticaj PTE na hidrauličke osobine korijena drvenastih vrsta je ispitan samo u nekoliko istraživanja (Luković i sar., 2005; De Silva i sar., 2012; Rucińska-Sobkowiak, 2016). U korijenovima *Salix* gajenih u uslovima povećanih koncentracija Cd, vrijednost k_h korijena na početku tretmana povezana je sa povećanim nivoom Cd i varijacijama u anatomiji sekundarnog ksilema. Kod klona 'B-44' je zabilježena veća teoretska hidraulička provodljivost u prisustvu Cd, koja je povezana sa povećanim lumenom i dijametrom traheja, dok je kod klona 'SM4041' k_h bio niži u uslovima obe koncentracije Cd. U drugom uzorku adventivnih korijenova, samo kod klona 'SM4041' zabilježen značajan porast k_h u prisustvu Cd 6. Na kraju tretmana, u korijenu klona 'SV068' Cd 3 je doveo do značajnog smanjenja k_h . Nasuprot tome, kod klona 'SM4041', k_h se značajno povećala u prisustvu obe koncentracije Cd.

Ovi podaci su u saglasnosti sa prethodnim istraživanjima koja ukazuju da varijacije karaktere traheja i vrijednosti k_h zavise od genetskih faktora (Tombesi i sar., 2010; Zorić i sar., 2012), ali istraživanje takođe ukazuje i na značaj vremenskog okvira tretmana. Rezultati do kojih su došli Loval i sar. (2018) pokazali su da se šest različitih klonova vrba sa različitim porijeklom, odlikovalo razlikama u ksilemu koje su zavisile isključivo od klona, bez obzira na roditeljske jedinice. Kod tri klona vrba najveći procenat traheja u prvom uzorku korijena je zabilježen za klasu traheja sa dijametrima od 20 do 40 μm , što ukazuje na vrlo jak uticaj stresa izazvanog PTE na najkrupnije traheje. Nasuprot, osobine ksilema i traheja kao i k_h u korijenu *Acer rubrum* su se snizile pod uticajem PTE i korijen je imao uže traheje (De Silva i sar., 2012). Negativan uticaj Cd na provodljivost korijena se iskazuje kroz negativno dejstvo na efikasan transport vode kroz ksilem i na hidrauličke osobine korijena (Lamoreaux i Chaney, 2007; Gallego i sar., 2012). Čak i malo povećanje dijametra traheja može da značajno poveća provodljivost vode, ali i rizik od pojave embolizma (Tyree i Zimmermann, 2002). Veći broj sitnijih traheja predstavlja adaptaciju vrba na uslove stresa uzrokovane PTE, s obzirom na to da su sitnije traheje manje podložne embolizmu (Cai i Tyree, 2010).

Rezultati istraživanja morfometrijskih parametara istih genotipova vrba su pokazali da su tretmani Cd 3 i Cd 6 doveli do značajne redukcije mase i zapremine korijena klonova *Salix matsudana* i *Salix alba*, što nije utvrđeno kod klona *Salix viminalis* (Arsenov, 2018). Analiza anatomske parametara korijena u prisustvu istih tretmana Cd ukazuje na drugačije genotipske razlike među klonovima, ističući potencijalnu ulogu klona 'B-44' u procesima fitostabilizacije zemljišta. Anatomske parametri mogu da služe kao koristan indikator nivoa zagađenja supstrata Cd, kao i za optimizaciju procesa fitoremedijacije. Kako literaturni izvori navode da se kod vrba velika količina usvojenog Cd zadržava na nivou korijena, dok je translokacija u nadzemne organe smanjena (Meers i sar., 2003; Borišev i sar., 2012; Tószér i sar., 2017; Touati i sar., 2019; Yu i sar., 2023), klonovi vrba kao što je 'B-44' mogu se koristiti za dendroremedijaciju zemljišta zagađenih Cd.

U našem istraživanju klasična anatomska analiza je pokazala da su tkiva **izbojaka** različito reagovala na tretman Cd u zavisnosti od primjenjene koncentracije, genotipa i dužine trajanja eksperimenta. Na početku tretmana, najuočljivije promjene u anatomiji izbojaka zapažene su kod klona 'B-44' u uslovima Cd 3 koja je dovela do povećanja mnogih analiziranih karaktera, a prije svega parametara pojedinačnih i grupisanih traheja. Klon 'SV068' se pokazao kao osjetljiv na tretmane Cd 3 i Cd 6, koji su uzrokovali smanjenje većine anatomskih parametara izbojaka, dok kod klona 'SM4041' značajne promjene u prisustvu Cd 3 i Cd 6 uočavaju samo za parametre grupisanih traheja. Tendencije promjena anatomskih karakteristika izbojaka tokom daljeg tretmana Cd ukazuju na negativno dejstvo obe koncentracije Cd na većinu analiziranih parametara, pri čemu su parametri pojedinačnih i grupisanih traheja bili najosjetljiviji na primjenjene tretmane u drugoj fazi i na kraju eksperimenta. U anatomskej strukturi izbojaka klonova vrba pod uticajem Cd zapaža se povećanje proporcija primarne kore i srži i V_i , što je posljedica smanjenja k_h , proporcije ksilema, broja i lumena solitarnih i grupisanih traheja.

U literaturi nema dostupnih podataka o uticaju povećanih koncentracija Cd na anatomske strukturu izbojaka vrba. Sa druge strane, visoka mobilnost PTE i njihova translokacija u nadzemne organe ima ključnu ulogu u odabiru vrsta za proces fitoekstrakcije (Puschenreiter i sar., 2013; Arsenov, 2018). U istraživanju sezonske varijacije u koncentraciji Cd u izbojcima vrste *Salix aurita*, najviša koncentracija je izmjerena u zimskom periodu, u poređenju sa ostalim sezonama (Ohlson i Staalnd, 2001). Brzina akumulacije Cd značajno raste u izbojcima vrba izloženim povećanim koncentracijama Cd tokom dužeg vremena (Tózsér i sar., 2017). Kompartimentacija metala u drvenastim biljkama u najvećoj mjeri varira u zavisnosti od vrsta i klonova (Pulford i Watson, 2003), kao i od procesa transpiracije (Vassilev i sar., 2005; Tózsér i sar., 2017). Kod klonova *Salix matsudana* 'Shidi1' i *Salix psammophila* 'Huangpi1' brzina transpiracije je bila pozitivno korelisana sa translokacijom Cd od korijena ka stablu i listovima (Xu i sar., 2019). Touati i sar. (2019) su utvrdili da se *Salix viminalis* i *Salix alba* odlikuju visokom efikasnošću uklanjanja Cd iz hranljivog rastvora, najvjerojatnije zbog sposobnosti da deponuju visoke količine Cd na nivou korijena, da bi se spriječila translokacija i oštećenje fotosintetičkog aparata.

Uticaj povećanih koncentracija na volumenske gustine tkiva izbojaka klonova vrba ukazao je na genotipske specifičnosti, ali i na uticaj dužine primjenjenog tretmana. Na početku eksperimenta, tretmani Cd imali su izraženiji negativni uticaj na volumenske gustine tkiva izbojaka klona 'SV068', u poređenju sa preostalim analiziranim genotipovima vrba. Uticaj tretmana Cd u drugoj fazi uzorkovanja je bio izraženiji i u vidu smanjenja V_v tkiva izbojaka klonova 'B-44' i 'SM4041', dok se kod klona 'SV068' zapaža manji broj promjena V_v tkiva. Najosjetljiviji parametri na dejstvo povećanih koncentracija Cd bili su V_v intercelulara primarne kore i V_v sklerenhima. Na kraju eksperimenta efekat tretmana Cd na volumenske gustine tkiva izbojaka klonova vrba bio je najmanje izražen, a značajne promjene zabilježene su za mali broj parametara. Kao najosjetljiviji parametri izbojaka klona 'B-44' na dejstvo primjenjenih tretmana Cd u trećoj fazi uzorkovanja pokazale su se V_v epidermisa i V_v primarnog floema, a kod klonova 'SV068' i 'SM4041' V_v primarnog i V_v sekundarnog floema. Stereološka analiza koja bi pokazala uticaj PTE na volumenske gustine tkiva izbojaka vrba do sada nije provedena, ali je ukazala da su tretmani Cd uzrokovali promjene V_v pojedinih tkiva, koje su se razlikovale u pojedinim fazama uzorkovanja. Ove promjene mogu biti povezane sa stepenom translokacije i akumulacije Cd u izbojcima vrba. Da bi se utvrdilo da li postoji vertikalni gradijent koncentracije Cd u izdancima *Salix viminalis*, Sander i Ericsson (1998) predložili su uzorkovanje u pravilnim intervalima duž izdanaka. Na taj način se mogu dobiti reprezentativni podaci o varijaciji koncentracije Cd duž izdanaka i izračunati prosječna

koncentracija Cd na nivou čitavog izdanka, koji zavisi i od starosti izdanka i razvijenosti njegovih tkiva. Autori naglašavaju da se se proporcija kore povećava ka vršnim i užim segmentima izdanka, kao i da je koncentracija elemenata generalno veća u kori nego u drvetu, sa izuzetkom Cd koji se više akumulira u drvetu. Zbog toga je spor porast koncentracije Cd sa visinom izdanka u vezi sa opadanjem odnosa kore i drveta od baze prema vrhu izdanka. Pored toga, veliki broj istraživanja je pokazao da se vrbe generalno odlikuju efikasnom translokacijom Cd iz korijena u nadzemne organe, a samim tim imaju značajnu ulogu u fitoekstrakciji PTE (Greger i Landberg, 1999; Dos Santos Utmazian i sar., 2007; Zacchini i sar., 2009; Pietrini i sar., 2010; Tózsér i sar., 2018). Akumulacija Cd u kori i drvenom dijelu izdanaka povezana je sa produktivnošću nadzemne biomase vrba. Pulford i sar. (2002) su razlikovali dvije grupe vrba, od kojih se jedna karakteriše visokim sadržajem Cd i Zn u drvetu, sa karakteristikama bolje stope preživljavanja u uslovima povećanih koncentracija PTE i visokom produktivnošću. S druge strane, autori izdvajaju vrbe koje uz mali sadržaj Cd i Zn u drvetu imaju osobine slabe otpornosti i nisku produkciju biomase. Njihovi rezultati ukazuju da različiti faktori kao što je uticaj genotipa određuju akumulaciju PTE u nadzemnim organima.

Dokazano je da višak Cd izaziva promjene u morfologiji i anatomiji **listova** različitih vrsta vrba kao što su izmjenjena struktura epikutikularnog voska, smanjenje dimenzija ćelija epidermisa i palisadnog tkiva, promjene u debljini ćelijskih zidova ksilema i sklerenhima (Gostin i Ivanescu, 2007; Hermle i sar., 2007). Zapaženo je da je sara oko provodnih snopića u listovima *Salix alba* imala različito zadebljale sklerifikovane ćelijske zidove. Smanjuje se broj i indeks stoma. U ćelijama epidermisa, hlorenhima i kolenhima centralnog nerva zapaženi su tamni depoziti koji vjerovatno predstavljaju sintezu fenola indukovanu prisustvom polutanata (Gostin i Ivanescu, 2007). Pored hloroze, biljke ispoljavaju nekrozu, venjenje, uvijanje, crveno-narandžasto obojenje i prerano opadanje listova (Hermans i sar., 2011; Kabata-Pendias, 2011; Gallego i sar., 2012). Kadmijum smanjuje relativni sadržaj vode u listovima (Osakabe i sar., 2014; Shah i sar., 2019), provodljivost stoma, razmjenu gasova i transpiraciju (Adriano, 2001; Souza i sar., 2011; Rizvan i sar., 2016; Abbas i sar., 2018; Shah i sar., 2019). Listovi *Salix fragilis* na povećane koncentracije Cd u zemljištu reagovali su povećanjem broja stoma, povećanjem udjela epidermisa i palisadnog tkiva u debljini liske (Luković i sar., 2012).

Dejstvo Cd na listove vrba koje se zapaža u vidu makroskopskih i mikroskopskih promjena u strukturi, zavisi od anatomske građe lista, ontogenetskog razvoja tkiva lista i genotipskih razlika vrba u stepenu tolerancije i akumulacije Cd u tkivima lista (Vollenweider i sar., 2006; Hermle i sar., 2007). Prvi makroskopski simptomi oštećenja obično se zapažaju na mladim listovima, u vidu blijedih tačaka na naličju lista (Hermle i sar., 2007). Ove promjene su uzrokovane visokim translokacionim kapacitetom listova vrba (Luković i sar., 2012).

Naši rezultati su pokazali da su liske analiziranih klonova vrba gajenih u prisustvu Cd 3 i Cd 6 imale značajne promjene anatomske parametara. Karakter promjena zavisi je od primjenjene koncentracije Cd, genotipa i dužine tretmana. Tendencije promjena tkiva liske tokom dugotrajne izloženosti povećanim koncentracijama Cd (Cd 3 i Cd 6) su iskazane u vidu značajnog smanjenja površine ćelija adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa i ćelija palisadnog i sunderastog tkiva, uz opadanje procenta floema u snopiću glavnog nerva na početku tretmana. Tretmani sa dvije koncentracije Cd imali su suprotan efekat na procentualnu zastupljenost tkiva hlorenhima. U prisustvu Cd 3 povećana je procentualna zastupljenost palisadnog i sunderastog tkiva, dok je tretman sa Cd 6 imao redukujući efekat. Redukcija debljine pojedinih tkiva usljed negativnog uticaja viška Cd uzrokovala je manju površinu liske na ¼ debljine i površinu u regionu centralnog nerva kod tretiranih klonova.

Poređenja naših rezultata sa analizama listova drugih genotipova vrba ukazale su na postojanje istih ali i drugačijih strukturnih promjena hlorenhima, mehaničkog i provodnog tkiva lista kao odgovor na Cd stres (Cosio i sar., 2006; Vollenweider i sar., 2006; Gostin i Ivanescu, 2007; Günthardt i Vollenweider, 2007; Pajević i sar., 2009; Luković i sar., 2012). Rezultati istraživanja Vollenweider i sar. (2006) ukazali su da je u listovima vrste *Salix viminalis* tretman Cd uzrokovao značajnu redukciju ćelija palisadnog i sunderastog parenhima, povećanu vakuolizaciju i prisustvo malih nakupina Cd u hlorenhimu i mladih i starijih listova. Gostin i Ivanescu (2007) su naveli da anatomske promjene i prilagođavanja tkiva listova *Salix alba* na uticaj toksičnih koncentracija Cd obuhvataju smanjenu veličinu epidermalnih ćelija, smanjenu visinu palisadnih ćelija i strukturne promjene ćelijskih zidova ksilema. I kod drugih vrsta zapažene su slične promjene tkiva lista uzrokovane negativnim uticajem Cd. Na primjer, u listu *Glycine max* Cd je uzrokovao razvoj kraćih i užih ćelija palisadnog parenhima što je dovelo do redukcije debljine hlorenha (Pérez Chaca i sar., 2014).

Zabilježen je i drugačiji, pozitivan uticaj tretmana Cd na anatomsku strukturu liske. Iako su naši rezultati pokazali značajnu redukciju parametara adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa i hlorenhima u prisustvu tretmana Cd 3 i Cd 6, listovi *Salix fragilis* na povećane koncentracije Cd (10^{-5} i 10^{-7} M Cd) u zemljištu reagovali su suprotno, značajnim povećanjem debljine oba epidermisa i palisadnog tkiva i površine njihovih ćelija, što je uzrokovano zadebljanjem ćelijskih zidova i kompartmentacijom u vakuolama (Luković i sar., 2012). Karakteristične promjene u strukturi liske povezane su sa nivoom Cd (Luković i sar., 2012). Iako se PTE premještaju u listove u relativno ograničenim količinama, čak i male doze mogu da uzrokuju ozbiljno oštećenje anatomskih parametara liske, u vidu smanjene veličine ćelija, traheja i provodnih snopića, što negativno utiče na parametre stoma i sintezu fotosintetičkih pigmenata (Batoool i sar., 2015).

6.3. Uticaj Cd u prisustvu limunske kiseline na anatomsku građu vegetativnih organa klonova vrba

U brojnim studijama potvrđeno je da biorazgradivi helatni agensi, kao što je niskomolekularna limunska kiselina, značajno utiču na apsorpciju Cd stvarajući kompleks koji se lakše transportuje, te tako smanjuju toksičnost Cd i poboljšavaju ulogu biljaka u fitoremedijaciji (Lakkakula i sar., 2004; Chaturvedi i sar., 2014; Ehsan i sar., 2014; Arsenov i sar., 2019; Zou i sar., 2019). Dodatak malih količina limunske kiseline može da olakša i poboljša pokretljivost, usvajanje i fitoekstrakciju Cd (Sinha i sar., 2010), ali veće koncentracije limunske kiseline imaju negativan efekat jer povećavaju fitotoksičnost PTE (Turgut i sar., 2004).

Podaci o efikasnosti primjene limunske kiseline u fitoremedijaciji Cd za vrbe su malobrojni i obuhvataju samo analizu morfofizioloških parametara (Arsenov i sar., 2018, 2019, 2020). Generalno, mali broj podataka u literaturi odnosi se na akumulaciju i histološke promjene biljnih organa izazvane PTE u prisustvu limunske kiseline. Na primjer, niska koncentracija limunske kiseline ($5,252 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) olakšala je usvajanje i akumulaciju Fe i Al u egzodermisu i endodermisu korteksa korijena *Phragmites australis*, dok je visoka koncentracija limunske kiseline ($84,040 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) izazvala promjene depozicije Fe i Al u pravcu njihove akumulacije u centralnom cilindru korijena, kao i u epidermisu, korteksu i centralnom cilindru rizoma (Guo i sar., 2014). Nema literaturnih podataka o uticaju kombinovanog tretmana limunske kiseline i Cd na anatomske parametre vegetativnih organa vrba, ali ni drugih vrsta biljaka.

Rezultati ovog istraživanja su pokazali da je uticaj povišenih koncentracija Cd u prisustvu limunske kiseline na anatomsku građu **reznica** tri klona vrba zavisio od odabira klona,

segmenta reznice i primjenjenog tretmana. Kod klonova 'B-44' i 'SM4041' pod uticajem Cd + L došlo je do povećanja proporcije periderma i smanjenja proporcije srži u nadzemnom segmentu reznica, ali je kod klona 'SV068' zapažena suprotna reakcija na tretmane Cd u prisustvu limunske kiseline.

Tretmani sa dvije povišene koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline kod analiziranih klonova uzrokovali su statistički značajno niže vrijednosti procentualnih udjela primarne kore i srži. Parametri pojedinačnih traheja klonova vrba bili su posebno osjetljivi na tretman sa dvije koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline, čije vrijednosti su opale u poređenju sa kontrolom, dok su parametri grupisanih traheja bili čak povećani u uslovima Cd sa limunskom kiselinom.

Promjene anatomskih osobina **korijena** klonova vrba tretiranih Cd u prisustvu limunske kiseline zapažaju se kao odstupanja procentualne zastupljenosti pojedinih tkiva tokom trajanja eksperimenta. Na početku tretmana, u prvom uzorku korijenova klonova vrba, dobijeni podaci ukazali su da je dejstvo obe koncentracije Cd u kombinaciji sa limunskom kiselinom bilo najizraženije na anatomske karaktere klona 'SV068', u smislu značajnog povećanja izmjerenih proporcija tkiva korijena i parametara traheja. Nasuprot, kod klona 'B-44' uticaj tretmana Cd + L je bio najmanje izražen. Negativno dejstvo dvije koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline bilo je najviše izraženo na parametre traheja klona 'SM4041'.

U drugoj fazi uzorkovanja, stimulativni uticaj tretmana Cd 3+L na anatomske parametre korijenova klonova vrba je bio značajnije izražen kod klonova 'B-44' i 'SV068' u odnosu na klon 'SM4041'. Dva tretmana Cd + L različito su dejstvovala na proporcije tkiva korijena klonova vrba. Kod klona 'B-44' pozitivno, stimulativno dejstvo Cd 3+L na anatomske karaktere korijena je izraženije u odnosu na tretman Cd 6+L, dok je kod klona 'SV068' reakcija korijena na tretmane Cd + L bila suprotna.

Na kraju tretmana se zapažaju promjene u anatomskim parametrima korteksa korijena u uslovima Cd+L, a takođe i zastupljenosti traheja u pojedinim klasama dijametara.

Uticaj kombinovanih tretmana Cd+L na k_h klona 'B-44' ogleda se u vidu smanjenja ovog parametra. Kod klona 'SV068' tretman Cd 3+L je doveo do smanjenja k_h . U drugom uzorku korijena klona 'B-44' vrijednost k_h je veća u uslovima Cd 3+L. U trećem uzorku korijena klonova 'SV068' i 'SM4041' tretman Cd 3+L je uzrokovao značajno smanjenje k_h .

Najveća količina usvojenog Cd je registrovana u korijenu *Salix viminalis* i *Salix alba* u prisustvu Cd 6+L. Ovakvi rezultati se mogu objasniti primjenom limunske kiseline koja je uticala na povećano usvajanje i zadržavanje Cd na nivou korijena (Arsenov, 2018).

Dejstvo Cd + L na anatomske karaktere **izbojaka** klonova vrba na početku eksperimenta zapaža se u vidu stimulativnog uticaja, koji je zavisio od genotipa i tretmana. Mali broj anatomskih parametara klona 'B-44' je povećan u prisustvu Cd 6+L, ali je ovaj tretman imao izraženije pozitivno dejstvo na parametre izbojaka klonova 'SV068' i 'SM4041', primarnu koru i parametre pojedinačnih i grupisanih traheja. U drugoj fazi uzorkovanja, izbojci klonova 'B-44' i su imali izraženu negativu reakciju na prisustvo oba tretmana Cd + L, koja je bila iskazana kroz smanjenje parametara solitarnih i grupisanih traheja, procenat traheja u pojedinim klasama dijametara i k_h . Kod klona 'SM4041' oba tretmana Cd + L imala su pretežno pozitivno dejstvo na procentualna učešća pojedinih tkiva izbojaka, ali negativno dejstvo na karaktere traheja i k_h . Na kraju eksperimenta, svi klonovi su na prisustvo tretmana Cd + L reagovali redukovanim vrijednostima anatomskih karakteristika izbojaka, mada je negativna reakcija na tretmane bila nešto manje izražena kod klona 'B-44'.

Promjene **volumenskih gustina tkiva izbojaka** analiziranih klonova vrba daju drugačiju sliku o uticaju tretmana Cd u kombinaciji sa limunskom kiselinom. Uočena odstupanja tokom trajanja tretmana zavisila su od genotipa ali za većinu parametara nisu bila statistički značajno različita u odnosu na netretirane uzorke. Značajan uticaj tretmana Cd + L na Vv pojedinih tkiva izbojaka na početku eksperimenta uočen je samo u vidu promjena Vv primarnog i sekundarnog floema i srži. U drugoj fazi eksperimenta, kao osjetljiv parametar na tretmane Cd + L pokazala se Vv ksilema (primarnog + sekundarnog). Na kraju eksperimenta, kod klonova vrba Vv tkiva izbojaka su u većoj mjeri značajno odstupale od netretiranog uzorka pri tretmanu Cd 3+L.

Rezultati analize uticaja dvije koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline na anatomske karaktere **liske** istraženih klonova vrba ukazali su na različite tendencije promjena izmjerenih parametara koje su zavisile od genotipa, koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline i dužine trajanja tretmana. Na početku eksperimenta značajne promjene su se ogledale u redukciji izmjerenih i izračunatih parametara tretiranih uzoraka. Pored redukcije debljine liske na 1/4 širine, oba tretmana Cd +L imala su negativni uticaj na površinu ćelija adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa i površinu ćelija palisadnog i sunderastog tkiva na poprečnom presjeku.

Tendencija promjena anatomskih karakterata liske u drugoj fazi uzorkovanja tekla je u pravcu značajnog, pozitivnog uticaja oba tretmana Cd + L na parametre liske klona 'B-44'. Kod klona 'SV068' se zapaža drugačiji pravac promjena, jer su Cd 3+L i Cd 6+L imali negativan uticaj na anatomske karakteristike liske, uzrokujući redukciju površine ćelija adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa, kao i površine ćelija palisadnog i sunderastog tkiva. Za razliku od ova dva genotipa vrba, klon 'SM4041' nije reagovao na kombinovane tretmane Cd + L, uz izuzetak malog značajnog smanjenja debljine liske na glavnom nervu.

Analizom anatomskih karakterata liske u trećoj fazi uzorkovanja utvrđeno je da su posmatrani klonovi različito reagovali na tretmane Cd 3+L i Cd 6+L. Oba tretmana Cd +L kod klona 'B-44' uzrokovala su uvećanja površina ćelija palisadnog tkiva ali i redukciju ostalih anatomskih karakterata, posebno parametara adaksijalnog i abaksijalnog epidermisa.

Oba tretmana Cd sa limunskom kiselinom redukovala su anatomske parametre liske klona 'SV068' na kraju eksperimenta, dok je kod klona 'SM4041' trend redukcije anatomskih karakterata lista, kako debljine tako i parametara epidermisa i hlarenhima bio značajan samo pod uticajem tretmana Cd 3+L. Mora se naglasiti da primjenjeni tretmani Cd 3 i Cd 6, pa ni Cd 3+L i Cd 6+L nisu značajno uticali na parametre glavnog nerva, koji je ostao prilično stabilan tokom svih faza eksperimenta.

Za vrbe u literaturi još uvijek nema dostupnih podataka o uticaju Cd u prisustvu limunske kiseline kao helatnog agensa na anatomske parametre pojedinih vegetativnih organa. Srodno istraživanje (Arsenov, 2018) je obuhvatilo uticaj dvije iste koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline na morfološke i fiziološke parametre vegetativnih organa istih klonova vrba. Rezultati navedenog istraživanja su pokazali pozitivan uticaj primjene limunske kiseline na biomasu izdanka. Najveći faktor translokacije usljed primjene kombinovanog tretmana Cd sa limunskom kiselinom utvrđen je kod genotipa *Salix viminalis*. Autorka smatra da je mogući razlog povećanja nadzemne biomase klonova vrba povećana sekvestracija teških metala u vakuoli, u uslovima prisustva limunske kiseline, pri čemu dolazi do ublažavanja negativnog dejstva prisustva jona metala u biljnom tkivu.

Detaljnijom analizom uticaja kombinovanih tretmana Cd + L na biometrijske parametre klona *Salix viminalis* Arsenov i sar. (2019) utvrdili su da je varijacija u produkciji biomase korijena, reznice, mladih i starih listova zavisila od doze Cd, dodatka limunske kiseline i

trajanja eksperimenta. Biomasa listova bila je najveća nakon prve faze uzorkovanja, tj. 30 dana od početka tretmana. Produkovana masa korijena imala je najveću vrijednost u sredini eksperimenta, nakon 60 dana od primjene tretmana Cd + L, dok biomasa reznice nije značajno varirala bez obzira na tretman i vrijeme trajanja eksperimenta. Uticaj kombinovanih tretmana Cd + L na morfolometrijske parametre klona 'SV068' generalno je imao trend smanjenja negativnih efekata Cd u prisustvu limunske kiseline kao helatnog agenta i povećanja faktora bioakumulacije Cd i u korijenu i u nadzemnim organima koji su ustanovili Arsenov i sar. (2018), što može da značajno doprinosi ulozi ovog klona u dendroremedijaciji. Treba istaći da ono što je i najvažniji rezultat ovog rada jeste da dodatak limunske kiseline smanjuje štetno dejstvo povećanih koncentracija Cd na anatomske karaktere vegetativnih organa anaiziranih genotipova vrba. Prisustvo limunske kiseline daje drugačiju sliku o reakciji vrba na dvije različite koncentracije Cd na anatomskom planu.

7. Zaključci

Klonovi tri različite vrste vrba, 'B-44', 'SV068' i 'SM4041' do sada nisu bili predmet detaljne anatomske analize vegetativnih organa, a pored toga izbojci vrba nisu bili analizirani primjenom stereološke metode. Dobijeni rezultati pružaju nove podatke o anatomskim karakteristikama nadzemnih i podzemnih segmenata reznica, adventivnih korijenova, izbojaka i liski odabranih genotipova vrba i imaju značaj u potpunijem poznavanju anatomske građe vrsta iz roda *Salix*. Rezultati ukazuju na postojanje intergenotipske varijabilnosti kvantitativnih anatomskih parametara svih analiziranih vegetativnih organa.

Rezultati analize nadzemnih i podzemnih segmenata **reznica** ukazuju na značajne intergenotipske razlike. Među analiziranim genotipovima vrba, klon 'SM4041' se izdvaja najbolje razvijenim peridermom, primarnom korom i sekundarnim floemom. Anatomske karakteristike drveta (primarnog i sekundarnog ksilema) takođe ukazuju na značajne intergenotipske razlike na nivou nadzemnog i podzemnog segmenta, ali daju i drugačiju sliku o anatomskim razlikama genotipova vrba u odnosu na analizirane segmente. Klon 'B-44' se odlikuje najvećim brojem najsitnijih traheja u podzemnom segmentu, ali i najmanjim brojem traheja u nadzemnom segmentu među ispitanim klonovima. Ovi podaci ukazuju i na određene intragenotipske varijacije, koje ipak nisu utvrđene kod svih klonova. Takođe, ni jedan od analiziranih klonova vrba ne može se okarakterisati kao genotip sa brzim ili sporim rastom reznice, uzimajući u obzir anatomske parametre rasta, tj. odnos ksilema i floema, broj i dimenzije traheja. Nizak odnos ksilema i sekundarnog floema u reznici klona 'SM4041' je anatomski parametar koji ukazuje na niži potencijal rasta, ali ovaj klon karakteriše najveći broj krupnih traheja što uslovljava visok porast. Klon 'B-44' se karakteriše najmanjim brojem i najsitnijim trahejama, što su parametri brzog rasta u juvenilnoj fazi. Među klonovima nije utvrđena značajna razlika u pogledu otpornosti na kavitaciju i emboliju, koja takođe ukazuje na brzinu porasta, tako da se ne može dobiti jasna slika o intergenotipskim razlikama u brzini rasta.

Analiza anatomskih karaktera adventivnih **korijena** analiziranih genotipova vrba pruža nove podatke o sekundarnoj građi korijena vrsta iz roda *Salix* i ima značaj za procjenu razvoja i determinaciju različitih tipova korijenova. Utvrđeno je da se prema dijametru i anatomske građi korijeni klonova vrba mogu klasifikovati kao fini korijenovi, koji funkcionalno imaju ulogu u transportu vode, nutrijenata i metabolita ka nadzemnim organima. Najistaknutije intergenotipske razlike anatomskih parametara odnose se na najveću površinu i dijametar korijena, gustinu traheja i najkrupnije pojedinačne traheje u korijenu klona 'B-44', dok su ovi parametri najmanji u korijenu klona 'SV068'. Klon 'SM4041' se odlikuje najvećim procentualnim učešćem sekundarnog korteksa korijena.

Na nivou **izbojaka** klonova vrba utvrđen je mali broj genotipskih razlika u parametarima traheja. Klon 'B-44' ima najmanji broj solitarnih traheja i broj traheja u grupi. Klon 'SM4041' posjeduje najsitnije i najbrojnije pojedinačne i grupisane traheje izbojaka. S obzirom na nivo uzorkovanja (srednji dio izbojka) da bi se u potpunosti sagledale intergenotipske razlike klonova vrba, provedena je stereološka analiza koja je obuhvatila više segmenata od vrha do baze izbojaka. Rezultati **stereološke analize** pružaju potpuno nove podatke o volumenskim gustinama tkiva izbojaka vrba i dopunjuju podatke o njihovoj anatomske građi. Između klonova vrba najznačajnije inter- i intragenotipske razlike u volumenskim gustinama (Vv) tkiva izbojaka zapažene su na nivou vršnog, najmlađeg segmenta i odnosile su se najviše na Vv epidermisa i Vv intercelulara primarne kore u odnosu na ostale, starije segmente. Varijacije u Vv ostalih tkiva izbojaka ukazuju na genotipske razlike u kambijalnoj aktivnosti i stepenu sazrijevanja pojedinih segmenata izbojaka. Primjenom diskriminantne analize potvrđeno je

razdvajanje klonova 'B-44' na osnovu visoke Vv floema i klonova 'SM4041' po visokoj Vv intercelulara primarne kore i Vv sklerenhima.

Analizom anatomskih karakteristika **liske** utvrđeno je da se genotip 'SM4041' razlikuje po najbolje razvijenim tkivima, površinom i debljinom liske. Međutim, PCA analiza pokazala je da anatomski karakteri liske variraju na sličan način, zbog čega ne doprinose ni jasnoj diskriminaciji klonova.

Opis anatomske građe **lisne drške** ima značaj u dopuni postojećih podataka, posebno o obliku lisne drške na poprečnom presjeku, tipu kolenhima i rasporedu traheja u vaskularnom tkivu lisne drške različitih klonova vrba i može da posluži kao baza da bi se ustanovile sličnosti i/ili razlike sa drugim genotipovima vrsta *Salix alba*, *Salix viminalis* i *Salix matsudana*.

Disertacija pruža nove podatke o razlikama u **hidrauličkim osobinama** ksilema reznica, korijena i izbojaka klonova vrba, koje imaju značaj sa aspekata proučavanja funkcije usvajanja, transporta i skladištenja vode, nutrijenata ali i organskih zagađivača i PTE. Utvrđene su intergenotipske razlike u pogledu hidrauličkih parametara na nivou reznice, korijenova i izbojaka. Klon 'SV068' sa najvećom vrijednošću k_h i najkrupnijim trahejama reznice je pod najvećim rizikom od embolije. Klon 'B-44' se karakteriše najsitnijim trahejama, najmanjom k_h i najnižim V_i na nivou reznice, što su parametri vezani za osobine veće otpornosti prema kavitaciji, emboliji i suši. Na nivou korijena, najveća gustina traheja, najveći lumeni dijametar solitarnih traheja, najveća k_h i najmanji V_i , karakterišu klon 'B-44'. Klon 'SV068' se karakteriše najmanjom k_h , gustinom traheja, lumenom i dijametrom pojedinačnih traheja. Najveći V_i u korijenu je izračunat za klon 'SM4041'. Klon 'SM4041' posjeduje najsitnije i najbrojnije pojedinačne i grupisane traheje, a u vezi sa tim najmanje vrijednosti k_h i V_i na nivou izbojka. Klonovi 'B-44' i 'SV068', sa većim lumenom traheja u izbojcima u odnosu na klon 'SM4041', imaju i veću k_h i veći V_i . Rezultati ukazuju na postojanje veze između anatomskih karaktera ksilema, hidrauličke provodljivosti, osjetljivosti na kavitaciju i emboliju što može da ima značaj pri procjeni produktivnosti biomase analiziranih klonova vrba.

Podaci prikazani u ovoj disertaciji ukazuju da su primjenjeni **tretmani Cd** uzrokovali različite anatomske odgovore klonova vrba, koji su zavisili od genotipa i koncentracije Cd. Pored toga, promjene anatomskih parametara pod uticajem tretmana Cd na nivou reznice zavisile su od segmenta, a na nivou korijena, izbojaka i liske od dužine tretmana.

U našem istraživanju utvrđen je značajan uticaj Cd na periferna tkiva **reznica** koji je zavisio od koncentracije Cd, analiziranog segmenta (podzemni ili nadzemni), kao i od samog genotipa. U nadzemnom i podzemnom segmentu reznice klonova 'B-44' zabilježeno je povećanje proporcija periderma i korteksa nadzemnog segmenta. Klonovi 'SV068' i 'SM4041' su na tretman Cd reagovali smanjenjem procentualnih udjela perifernih tkiva. Podzemni segmenti reznice tri klonova vrba su na oba primjenjena tretmana Cd reagovali smanjenim procentualnim udjelom primarne kore. Ovi rezultati mogu se dovesti u vezu sa koncentracijama elemenata koje su generalno veće u kori stabla nego u drvetu klonova vrba koji se tradicionalno gaje radi primjene u fitoekstrakciji PTE iz zagađenih zemljišta, na osnovu čega bi klon 'B-44' imao potencijalnu primjenu u fitoekstrakciji Cd na nivou korteksa reznice. Promjene parametara traheja nadzemnog i podzemnog segmenta reznice ukazale su da je reakcija istraženih genotipova vrba zavisila od primjenjene koncentracije Cd. Tretman Cd 3 generalno je imao izraženiji pozitivni efekat, posebno na broj i površinu pojedinačnih traheja. Parametri grupisanih traheja bili su osjetljivi na dejstvo Cd 6. Pozitivna procentualna odstupanja anatomskih parametara reznica klonova vrba u prisustvu Cd 3 bila su najizraženija kod genotipa *Salix viminalis*, na nivou i nadzemnog i podzemnog segmenta, što ukazuje da je klon

‘SV068’ pogodan za fitoekstrakciju nižih koncentracija Cd u reznici, tokom kraćeg perioda izloženosti.

Anatomska struktura **korijena** tri klonova vrba pokazuje intergenotipske razlike u odgovoru na nivo toksičnosti Cd. Parametri traheja tokom tri faze uzorkovanja bili su najosjetljiviji anatomske karakteri u sekundarnoj strukturi adventivnih korijena vrba na tretman sa dvije povećane koncentracije Cd. Na osnovu najvećih izmjerenih vrijednosti anatomske parametara korijena, prije svega površine korijena na poprečnom presjeku i lumena traheja, klon ‘B-44’ mogao bi da ima potencijalnu ulogu u fitostabilizaciji zemljišta zagađenih Cd.

Promjene u anatomskim karakteristikama **izbojaka** pod uticajem Cd 3 i Cd 6, tokom tri faze uzorkovanja ukazale su da je na početku tretmana kod klonova ‘B-44’ koncentracija Cd 3 imala stimulatívni efekat. U kasnijim fazama pokazalo se da su anatomske parametri tri klonova vrba bili osjetljivi na negativno dejstvo oba tretmana Cd, te nisu pogodni za primjenu u fitoekstrakciji Cd u izbojcima ali mogu da posluže pri praćenju akumulacije i translokacije Cd od korijena ka izbojcima. Stereološka analiza izbojaka pružila je nove podatke o uticaju povećanih koncentracija Cd na promjene Vv pojedinih tkiva, koje su se razlikovale u pojedinim fazama uzorkovanja. Uticaj tretmana Cd na Vv tkiva izbojaka klonova vrba ukazao je na genotipske specifičnosti i uticaj dužine trajanja tretmana. Koncentracije Cd 3 i Cd 6 imale su najznačajniji uticaj na Vv tkiva izbojaka klonova ‘B-44’, na početku i u drugoj fazi tretmana, u poređenju sa preostalim analiziranim genotipovima vrba. Na kraju eksperimenta efekat tretmana Cd na volumenske gustine tkiva izbojaka klonova vrba bio je najmanje izražen, što može da ukaže na nizak stepen translokacije i akumulacije Cd u izbojcima vrba.

Dobijeni rezultati su pokazali da su **liske** analiziranih klonova vrba gajenih u prisustvu Cd 3 i Cd 6 imale značajne promjene anatomske parametara, zavisno od primjenjene koncentracije Cd, genotipa i dužine tretmana. Tokom dugotrajne izloženosti povećanim koncentracijama Cd došlo je do značajnog smanjenja površine ćelija adaksijalnog i abaksijalnog epidermis i ćelija palisadnog i sunđerastog tkiva. Karakteristične promjene u strukturi liske povezane su sa nivoom Cd i ukazale su da na nivou liske, analizirani genotipovi vrba pokazuju osjetljivost na negativno dejstvo Cd i nisu preporučljivi za fitoekstrakciju Cd putem lista.

Varijacije karaktera traheja i vrijednosti k_h i V_i zavise od genetskih faktora i koncentracije Cd. Kod genotipa, ‘SM4041’ parametri **teoretske hidrauličke provodljivosti i indeksa osjetljivosti** reznice nisu značajno odstupali od kontrole, bez obzira na primjenjen tretman Cd, ali su tokom vremena varirali na nivou korijena, od početnog opadanja do značajnog povećanja na kraju tretmana u prisustvu obe koncentracije Cd. U anatomskoj strukturi izbojaka klonova vrba pod uticajem Cd zapaža se povećanje V_i , što je posljedica smanjenja k_h i anatomske parametara traheja. Promjene u hidrauličkim parametrima ksilema mogu da ukažu na sposobnost biljaka da se adaptiraju na povećan sadržaj PTE u životnoj sredini promjenama anatomske parametara ksilema. Informacije o hidrauličkoj provodljivosti vegetativnih organa vrba značajne su u procjeni osjetljivosti različitih genotipova na nedostatak vode, jer povećana koncentracija Cd može da uzrokuje smanjenje sadržaja vode u korijenu i nadzemnim organima.

Primjena **limunske kiseline** uticala je na reakciju vrba na prisustvo Cd kroz modifikaciju anatomske karakteristika. Rezultati ovog istraživanja su pokazali da je uticaj povišene koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline na anatomsku građu **reznica** tri klonova vrba zavisio od odabira klonova, segmenta reznice i primjenjenog tretmana. Tretmani sa dvije povišene koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline uzrokovali su statistički značajno niže vrijednosti procentualnih udjela primarne kore i srži, parametara pojedinačnih traheja, ali i

povećanje parametara grupisanih traheja reznica klonova vrba. Promjene u anatomskoj građi reznica mogu da ukažu na sposobnost klonova vrba da se adaptiraju na povećan sadržaj Cd u prisustvu limunske kiseline promjenama strukture pokoričnih tkiva i ksilema reznice.

Uticaj Cd u kombinaciji sa limunskom kiselinom na anatomske karakteristike korijena, izbojaka i liske zavisio je od genotipa i dužine trajanja tretmana. Promjene anatomskih osobina **korijena** klonova vrba tretiranih Cd u prisustvu limunske kiseline zapažaju se kao odstupanja procentualne zastupljenosti pojedinih tkiva tokom trajanja eksperimenta. Dejstvo limunske kiseline u kombinaciji sa obe koncentracije Cd je bilo stimulatивно na proporcije tkiva korijena i parametara traheja klona 'SV068'. Negativno dejstvo dvije koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline bilo je najviše izraženo na parametre traheja klona 'SM4041'.

Na početku i u drugoj fazi tretmana limunska kiselina u kombinaciji sa Cd imala je stimulativan efekat na anatomske karakteristike **izbojaka** genotipova 'SV068' i 'SM4041', dok je klon 'B-44' bio osjetljiv na Cd u prisustvu limunske kiseline. Na kraju eksperimenta, svi klonovi su na prisustvo tretmana Cd + L reagovali redukovanim vrijednostima anatomskih karakteristika izbojaka, mada je negativna reakcija bila nešto manje izražena kod klona 'B-44'. Promjene **volumenskih gustina tkiva izbojaka** analiziranih klonova vrba tokom trajanja tretmana zavisila su od genotipa ali za većinu parametara nisu bila statistički značajno različita u odnosu na netretirane uzorke.

Rezultati analize uticaja dvije koncentracije Cd u prisustvu limunske kiseline na anatomske karaktere **liske** istraženih klonova vrba promjena izmjerenih parametara koje su zavisile od genotipa i dužine trajanja tretmana. Kao najotporniji na uticaj kombinovanog tretmana Cd + L na nivou anatomskih karakteristika liske pokazao se klon 'SM4041'.

Zapažene varijacije kvantitativnih parametara vegetativnih organa mogu biti polazna tačka u programima selekcije genotipova vrba koji se gaje i istražuju za različite primjene, uključujući selekciju genotipova sa poboljšanim nivoom rasta, adaptabilnosti i otpornosti na faktore stresa, kao što su povećane koncentracije potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu, vodi i vazduhu. Na osnovu sveobuhvatnih anatomskih analiza i uz primjenu stereološkog metoda uzorkovanja materijala moguće je u budućim istraživanjima izvršiti odabir vrsta i selekciju klonova koji se karakterišu najvećim porastom i prinosom biomase. Rezultati ove disertacije generalno ukazuju na značaj istraživanja anatomskih karakteristika vegetativnih organa različitih klonova vrba sa potencijalnom ulogom u procesu dendroremedijacije povišenih koncentracija Cd. Na osnovu dobijenih podataka karakteristike traheja i hidrauličke osobine ksilema su identifikovani kao anatomskih parametri povezani sa mehanizmima tolerancije, akumulacije i translokacije PTE u vegetativnim organima vrba i imaju ulogu svojevrsnog vodiča u produkciji i selekciji genotipova najpogodnijih za fitoekstrakciju i fitostabilizaciju. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da analizirani klonovi posjeduju genotipsku specifičnost posmatranih anatomskih karakteristika u uslovima povišenih koncentracija Cd u zemljištu. Poređenjem analiziranih klonova, klon 'B-44' se izdvaja kao genotip sa osobinama poželjnim za fitostabilizaciju, a klonovi 'SV068' i 'SM4041' za fitoekstrakciju.

Ova disertacija otvara i problemska pitanja koja otvaraju nove pravce istraživanja. Rezultati disertacije ukazuju na mogućnost da interpekijska varijabilnost klonova vrba u pogledu k_h i otpornosti na sušu, kavitaciju i embolizam i odnosi između ovih parametara nisu povezani samo sa dijametrom i lumenom traheja, već da zavise i od drugih anatomskih karakteristika ksilema, prije svega od gustine vlakana, uloge parenhima ksilema i veličine, rasporeda i broja opšančenih jamica na zidovima traheja, što je polje koje može da pruži nove podatke o ksilemu vrba.

Kako su analizom obuhvaćene volumenske gustine tkiva izbojaka, koje do sada nisu bile predmet istraživanja, definisan je set novih karaktera koji doprinose boljem razumijevanju razvoja jednogodišnjih izbojaka klonova vrba, a mogu da se primijene i pri analizi drugih vegetativnih organa, prije svega liske i lisne drške i uporede sa morfofiziološkim parametrima vodnog režima, otpornosti na sušu i fotosinteze. Od posebnog značaja bila bi procjena stepena lignifikacije ksilema duž segmenata izbojaka, s obzirom na ulogu lignina u provođenju vode i održavanju čvrstine ćelijskog zida, kao i u vezivanju PTE za ćelijski zid. Iako je od vitalnog značaja za opstanak biljaka, lignin ima negativan uticaj na iskorištavanje biomase prilikom proizvodnje pulpe i papira, što treba uzeti u obzir prilikom razmatranja klonova vrba koji se gaje u ekonomske svrhe.

Disertacijom su dobijena saznanja o anatomskom odgovoru vegetativnih organa genotipova vrba pri kombinovanom tretmanu dvije koncentracije Cd sa limunskom kiselinom, koja dopunjuju postojeće podatke o morfofiziološkom odgovoru istih klonova vrba na tretmane Cd + L. Dodavanje limunske kiseline u zemljište kontaminisanom Cd se može smatrati poželjnom i odgovarajućom mjerom fitoremedijacije, koja doprinosi povećanju usvajanja i akumulacije Cd u vegetativnim organima odabranih genotipova vrba, a samim tim i efikasnijem uklanjanju metala iz zagađenog zemljišta. Prednost treba dati sukcesivnoj aplikaciji ovog helatnog jedinjenja, posebno pri većim koncentracijama Cd i dugotrajnijem tretmanu, kada limunska kiselina može da poveća akumulaciju Cd. Limunska kiselina doprinijela je da u prisustvu Cd promene u anatomiji ispitivanih vegetativnih organa vrba budu smanjene, odnosno da se biljka ponaša kao otpornija na toksično dejstvo povećanih koncentracija Cd u zemljištu.

8. Literatura

- Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S. et al. Effect of biochar on alleviation of cadmium toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on Cd-contaminated saline soil (2018). *Environ Sci Pollut Res* 25, 25668–25680. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8987-4>
- Abedi, T., Mojiri A. (2020). Cadmium Uptake By Wheat (*Triticum aestivum* L.): An Overview. *Plants*, 9(4), 500; <https://doi.org/10.3390/plants9040500>
- Abhilash, P. C., Powell, J. R., Singh, H. B., & Singh, B. K. (2012). Plant–microbe interactions: novel applications for exploitation in multipurpose remediation technologies. *Trends in Biotechnology*, 30(8), 416–420. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.04.004>
- Acuña, E., Castillo, B., Queupuan, M., Casanova, M., Tapia, Y. (2020). Assisted phytoremediation of lead contaminated soil using *Atriplex halimus* and its effect on some soil physical properties. *Int J Environ Sci Technol* 18 (7), 1925–1938. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02978-5>
- Adler, A., Verwijst, T., Aronsson, P. (2005). Estimation and relevance of bark proportion in a willow stand. *Biomass and Bioenergy*, 29(2), 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.04>.
- Adriano, D. C. (2001). Trace Elements in Terrestrial Environments. *Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals*, pp 1-867. Springer New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-21510-5>
- Aisien, F. A., Oboh, I. O., Aisien, E. T. (2013). Phytotechnology—remediation of inorganic contaminants. In: Naser A et al (eds) *Phytotechnologies: remediation of environmental contaminants*. CRC Press, Florida, USA, pp 75–82.
- Akcin, T., Akcin, A., Yildirim, C. (2018). Effects of Chromium on Anatomical Characteristics of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L. cv. “Ekiz”). *Journal of International Environmental Application and Science*, 13 (1), 27-32.
- Akhtar, T., Zia-ur-Rehman, M., Naeem, A., Nawaz, R., Ali, S., Murtaza, G., Maqsood, M. A., Azhar, M., Khalid, H., Rizwan, M. (2017). Photosynthesis and growth response of maize (*Zea mays* L.) hybrids exposed to cadmium stress. *Environ Sci Pollut Res*, 24, 5521–5529. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8246-0>
- Alder, N. N., Sperry, J. S., Pockman, W. T. (1996). Root and stem xylem cavitation, stomatal conductance, and leaf turgor in *Acer grandidentatum* across a soil moisture gradient. *Oecologia* 105, 293-301.
- Alfaraas A. J., Khairiah J., Ismail B., Noraini T. (2016). Effects of heavy metal exposure on the morphological and microscopical characteristics of the paddy plant. *J Environ Biol*, 37, 955.
- Ali, H., Khan, E. (2018). What are heavy metals? Long-standing controversy over the scientific use of the term ‘heavy metals’—proposal of a comprehensive definition. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 100 (1), 6-19. <https://doi.org/10.1080/02772248.2017.1413652>
- Ali, H., Khan, E., Sajad, M.A., (2013). Phytoremediation of heavy metals - Concepts and applications. *Chemosphere* 91 (7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>

- Ali, M. B., Tripathi, R. D., Rai, U. N., Pal, A., Singh, S. P. (1999). Physico-chemical characteristics and pollution level of lake Nainital (U.P., India): Role of macrophytes and phytoplankton in biomonitoring and phytoremediation of toxic metal ions. *Chemosphere*, 39 (12), 2171–2182. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(99\)00096-x](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(99)00096-x)
- Alker, G., Godley, A., Hallett, J., (2002). Landfill Leachate Management Using Short Rotation Coppice Final Technical Report. CO5126.
- Alle, V., Kondratovičs, U., Osvalde, A., Vikmane, M. (2016). Differences in cadmium accumulation and induced changes in root anatomical structures in plants used for food. *Agronomy research*, 14, 1249-1260. https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2016/05/Vol14_S2_Alle.pdf
- Alloway, B. J. (2013). Heavy Metals and Metalloids as Micronutrients for Plants and Animals. In: Alloway, B. (eds.) *Heavy Metals in Soils*, pp 195–209. Environ Pollut, EPOL vol 22. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_7
- Almeida-Rodríguez, A. M., Gómez, M. P., Loubert-Hudon, A., Joly, S., Labrecque, M. (2015). Symbiotic association between *Salix purpurea* L. and *Rhizophagus irregularis*: modulation of plant responses under copper stress. *Tree Physiol* 36(4), 407–420. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv119>
- Al-Saadi, S., Al-Asaadi, W. M., Al-Waheeb, A. N. H. (2013). The effect of some heavy metals accumulation on physiological and anatomical characteristic of some *Potamogeton* L. plant. *Journal of Ecology and Environmental Sciences* 4 (1), 100-108.
- Alvarez-Fernández, A., Díaz-Benito, P., Abadía, A., López-Millán, A. F., Abadía, J. (2014). Metal species involved in long distance metal transport in plants. *Frontiers in Plant Science*, 5, 105. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00105>
- Amari, T., Ghnaya, T., Abdelly, C. (2017). Nickel, cadmium and lead phytotoxicity and potential of halophytic plants in heavy metal extraction. *South African Journal of Botany*, 111, 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.011>
- Andrašev, S., Rončević, S., Ivanišević, P., Vučković, M., Bobinac, M. (2011). Elementi rasta stabala i izgrađenost zasada bele vrbe (*Salix alba* L.) na staništu lužnjaka i poljskog jasena u Donjem Sremu. *Topola*, No 187/188, str. 35-52.
- Anfodillo, T., Carraro, V., Carrer, M., Fior, C., Rossi, S. (2006). Convergent tapering of xylem conduits in different woody species. *New Phytologist* 169, 279–290. <https://doi.org/10.1111/J.1469-8137.2005.01587.X>
- Anfodillo, T., Petit, G., Crivellaro, A. (2013). Axial conduit widening in woody species: A still neglected anatomical pattern. *IAWA Journal* 34 (4), 352–364. <https://doi.org/10.1163/22941932-00000030>
- Appenroth, K. J. (2010). Definition of “Heavy Metals” and Their Role in Biological Systems. In: *Soil Heavy Metals*, pp. 19-29. *Soil Biology*, vol 19. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02436-8_2
- Arihan, O. (2003). Ankara çevresinde yetişen *Salix* L. (söğüt) türleri üzerinde farmasötik botanik yönünden araştırmalar / Pharmaceutical botany research on the willow (*salix*) species growing in Ankara province. Master. Ankara Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / Farmasötik Botanik Ana Bilim Dalı. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

Arihan, O., Güvenç, A. (2011) Studies on the anatomical structure of stems of willow (*Salix* L.) species (Salicacea) growing in Ankara Province, Turkey. *Turk J Bot* 35, 1–17. <https://doi.org/10.3906/bot-1003-50>

Arsenov, D., Župunski, M., Borišev, M., Nikolić, N., Orlović, S., Pilipović, A., Pajević, S. (2017). Exogenously Applied Citric Acid Enhances Antioxidant Defense and Phytoextraction of Cadmium by Willows (*Salix* Spp.). *Water Air, Soil Pollut*, 228(6): 221. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3405-6>

Arsenov, D. (2018). Fiziološki aspekti potencijala vrba (*Salix* spp.) u asistiranju fitoremedijaciji kadmijuma upotrebom limunske kiseline. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za biologiju i ekologiju.

Arsenov, D., Župunski, M., Borišev, M., Nikolić, N., Pilipović, A., Orlović, S., Kebert, M., Pajević, S. (2020). Citric acid as soil amendment in cadmium removal by *Salix viminalis* L., alterations on biometric attributes and photosynthesis. *Int J Phytoremediation*, 22 (1), 29-39. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1633999>.

Arsenov, D., Nikolić, N., Borišev, M., Župunski, M., Orlović, S., Pilipović, A., Pajević, S. (2019). Greenhouse assessment of citric acid-assisted phytoremediation of cadmium by willows (*Salix* spp.)- effect on photosynthetic performances and metal tolerance. *Balt For*, 25(2), 203–212. <https://doi.org/10.46490/vol25iss2pp203>

Avila, R., Kane, C., Batz, T., Trabi, C., DaMatta, F., Jansen, S., McAdam, S. (2022). The relative area of vessels in xylem correlates with stem embolism resistance within and between genera. *Tree Physiology*, 43 (1), 75-87. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpac110>

Awa, S. H., Hadibarata, T. (2020). Removal of heavy metals in contaminated soil by phytoremediation mechanism: a review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231 (2), 47. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4426-0>

Awad, H., Barigah, T., Badel, E., Cochard, H., Herbette, S. (2010). Poplar vulnerability to xylem cavitation acclimates to drier soil conditions. *Physiologia Plantarum*. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2010.01367.x>

Baas, P., Ewers, F. W., Davis, S. D., Wheeler, E. A. (2004). Evolution of xylem physiology. In: *The evolution of plant physiology*. In: Hemsley, A. R., Poole, I. (eds.), pp. 273-295. Elsevier Academic Press, London, UK.

Balestri, M., Ceccarini, A., Forino, L. M. C, Zelko, I., Martinka, M., Lux, A., Castiglione, M. R. (2014). Cadmium uptake, localization and stress-induced morphogenic response in the fern *Pteris vittata*. *Planta*, 239 (5), 1055–1064. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2036-z>

Baltrėnas, P., Čepanko, V. (2009). Accumulation of heavy metals in short-rotation willow. *Ekologija*, 55 (2), p. 153–163. <https://doi.org/10.2478/v10055-009-0019-3>

Barceló, J., Poschenrieder, C. (1990). Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 13(1), 1–37. <https://doi.org/10.1080/01904169009364057>

Barotto, A. J., Monteoliva, S., Gyenge, J., Martinez-Meier, A., Moreno, K., Tesón, N., Fernández, M. (2017). Wood density and anatomy of three Eucalyptus species: implications for hydraulic conductivity. *Forest Systems*, 26 (1), e010. <https://doi.org/10.5424/fs/2017261-10446>.

- Batool, R., Hameed, M., Ashraf, M., Ahmad, M.S., Fatima, S. (2015). Physio-Anatomical Responses of Plants to Heavy Metals. In: Öztürk, M., Ashraf, M., Aksoy, A., Ahmad, M. (eds) *Phytoremediation for Green Energy*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7887-0_5
- Batool, R., Hameed, M., Ashraf, M., Fatima, S., Nawaz, T., Ahmad, M. S. A. (2014). Structural and functional response to metal toxicity in aquatic *Cyperus alopecuroides* Rottb. *Limnologica- Ecology and Management of Inland Waters*, 48, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2014.06.002>
- Baz, M., Fernandez, R. T. (2002). Evaluating Woody Ornamentals for Use in Herbicide Phytoremediation. *J Amer Soc Hort Sci*, 127 (6), 991-997. <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.6.991>
- Benavides, M. P., Gallego, S. M., Tomaro, M. L. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Braz J Plant Physiol*, 17 (1), 131-136.
- Bhardwaj, R., Handa, N., Sharma, R., Kaur, H., Kohli, S., Kumar, V., Kaur P. (2013). *Lignins and Abiotic Stress: An Overview. Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment*, Springer Nature, ISBN: 978-1-4614-8590-2
- Bhat, S. A., Bashir, O., Ul Haq, S. A., Amin, T., Rafiq, A., Ali, M., Américo-Pinheiro, J. H. P., Sher F. (2022). Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach. *Chemosphere*, 303 (1), 134788. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134788>.
- Binns, W. W., Blunden, G. (1980). Comparative leaf anatomy of *Salix* species and hybrids. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 81, 205-214.
- Bittencourt, P. R. L., Pereira, L., Oliveira, R. S. (2016). On xylem hydraulic efficiencies, wood space-use and the safety–efficiency tradeoff. *New Phytologist*, 211, 1152– 1155. <https://doi.org/10.1111/nph.14044>
- Blaschek, L., Champagne, A., Dimotakis, C., Nuoendagula, Decou R., Hishiyama, S., Kratzer, S., Kajita, S., Pesquet, E. (2020). Cellular and genetic regulation of coniferaldehyde incorporation in lignin of herbaceous and woody plants by quantitative Wiesner staining. *Front Plant Sci*, 11, 109. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00109>
- Bolan, N. S., Park, J. H., Robinson, B., Naidu, R., Huh, K. Y. (2011). Phytostabilization. *Advances in Agronomy*, 145–204. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385538-1.00004-4>
- Bonosi, L., Ghelardini, L. Weih, M. (2010). Growth responses of 15 *Salix* genotypes to temporary water stress are different from the responses to permanent water shortage. *Trees* 24, 843–854. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0454-5>
- Borišev, M., Pajević, S., Nikolić, N., Krstić, B., Župunski, M., Kebert, M., Pilipović, A., Orlović, S. (2012). Response of *Salix alba* L. to heavy metals and diesel fuel contamination. *Afr J Biotechnol*, 11, 14313–14319. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/129437>. Accessed 9 November 2022.
- Borišev, M., Pajević, S., Nikolić, N., Pilipović, A., Krstić, B., Orlović, S. (2009). Phytoextraction of Cd, Ni, and Pb using four willow clones (*Salix* spp.). *Pol J Environ Stud* 18(4), 553–561.

- Boucher, L. D., Manchester, S. R., Judd, W. S. (2003). An extinct genus of Salicaceae based on twigs with attached flowers, fruits, and foliage from the eocene green river formation of Utah and Colorado, USA. *Am. J. Bot.* 90, 1389–1399. <https://doi.org/10.3732/ajb.90.9.1389>
- Brereton, N. J., Ray, M. J., Shield, I., Martin, P., Karp, A., Murphy, R. J. (2012). Reaction wood - A key cause of variation in cell wall recalcitrance in willow. *Biotechnology for Biofuels*, 5(1), 83–81. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-83>
- Bringezu, K., Lichtenberger, O., Leopold, I., Neumann, D. (1999). Heavy metal tolerance of *Silene vulgaris*. *Journal of Plant Physiology*, 154, 536-546. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(99\)80295-8](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(99)80295-8)
- Brunner, I., Luster, J., Günthardt-Goerg, M. S., Frey, B. (2008). Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. *Environmental Pollution*, 152 (3), 559–568. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.07.006>
- Buchwał A, Rachlewicz G, Foni P, Cherubini P, Gärtner H (2013). Temperature modulates intra-plant growth of *Salix polaris* from a high Arctic site (Svalbard). *Polar Biol* 36:1305–1318. <https://doi.org/10.1007/s00300-013-1349-x>
- Buchwal, A. (2014). Constraints on dendrochronological dating of *Salix polaris* from central Spitsbergen. *Czech Polar Reports* 4 (1), 73-79. <https://doi.org/10.5817/CPR2014-1-8>
- Budzyńska, S., Niedzielski, P., Mleczek, M. (2021). Time-dependent changes of arsenic and its selected forms in a hydroponic experiment with *Quercus robur* L. *Journal of Hazardous Materials*, 124244. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124244>
- Bullard, M. J., Mustill, S. J., McMillan, S. D., Nixon, P. M. I., Carver, P., P. Britt, C. (2002). Yield improvements through modification of planting density and harvest frequency in short rotation coppice *Salix* spp.—1. Yield response in two morphologically diverse varieties. *Biomass and Bioenergy*, 22 (1), 15–25. [https://doi.org/10.1016/s0961-9534\(01\)00054-x](https://doi.org/10.1016/s0961-9534(01)00054-x)
- Burgess, S. S. O., Pittermann, J., Dawson, T. E. (2006). Hydraulic efficiency and safety of branch xylem increases with height in *Sequoia sempervirens* (D. Don) crowns. *Plant, Cell and Environment*, 29(2), 229–239. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01415.x>
- Cai, J., Tyree, M. T. (2010). The Impact of Vessel Size on Vulnerability Curves: Data and Models for Within-Species Variability in Saplings of Aspen, *Populus tremuloides* Michx. *Plant Cell Environ*, 33 (7), 1059-69. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02127.x>
- Capuana, M., (2011). Heavy metals and woody plants - biotechnologies for phytoremediation. *iForest*, 4, 7-15. <https://doi.org/10.3832/ifor0555-004>
- Capuana, M. (2020). A review of the performance of woody and herbaceous ornamental plants for phytoremediation in urban areas. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 13 (2), 139-151. <https://doi.org/10.3832/ifor3242-013>
- Carlquist, S. (1977). Ecological factors in wood evaluation: a floristic approach. *American Journal of Botany*, 64, 887-896. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1977.tb11932.x>
- Carlquist, S. (2001). Comparative wood anatomy – Systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood, 2nd Edn. Berlin: Springer Verlag.

- Cataldo, D. A., McFadden, K. M., Garland, T. R., Wildung, R. E. (1988). Organic constituents and complexation of nickel (II), iron (III), cadmium (II), and plutonium (IV) in soybean xylem exudates. *Plant Physiol*, 86 (3), 734–739. <https://doi.org/10.1104/pp.86.3.734>.
- Chaturvedi, N., Dhal, N. K., Patra, H. K. (2014). EDTA and citric acid-mediated phytoextraction of heavy metals from iron ore tailings using *Andrographis paniculata*: a comparative study. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 29 (1), 33–46. <http://dx.doi.org/10.1080/17480930.2014.955328>
- Chen, G., Liu, Y., Wang, R., Zhang, J., Owens, G. (2013). Cadmium adsorption by willow root: the role of cell walls and their subfractions. *Environ Sci Pollut Res*, 20 (8), 5665–5672. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1506-3>
- Chen, H.-C., Zhang, S.L., Wu, K.-J., Li, R., He, X.-R., He, D.-N., Huang, C., Wei, H. (2020). The effects of exogenous organic acids on the growth, photosynthesis and cellular ultrastructure of *Salix variegata* Franch. Under Cd stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 187, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109790>
- Chen, Y. X., Lin, Q., Luo, Y. M., He, Y. F., Zhen, S. J., Yu, Y. L., Tian, G. M., Wong, M. H. (2003). The role of citric acid on the phytoremediation of heavy metal contaminated soil. *Chemosphere*, 50 (6), 807-811. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(02\)00223-0](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(02)00223-0).
- Chibuike, G.U., Obiora, S.C. (2014). Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods. *Applied and Environmental Soil Science*, 1, 1-12 <https://doi.org/10.1155/2014/752708>
- Choat, B., Brodribb, T. J., Brodersen, C. R., Duursma, R. A., López R., Medlyn, B. E. (2018). Triggers of tree mortality under drought. *Nature*, 558, 531– 539. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0240-x>
- Christensen-Dalsgaard, K. K., Ennos, A. R., Fournier, M. (2008). Interrelations between hydraulic and mechanical stress adaptations in woody plants. *Plant Signaling & Behavior*, 3(7), 463–465. <https://doi.org/10.4161/psb.3.7.5673>
- Cicatelli, A., Lingua, G., Todeschini, V., Biondi, S., Torrigiani, P., Castiglione, S. (2010). Arbuscular mycorrhizal fungi restore normal growth in a white poplar clone grown on heavy metal-contaminated soil, and this is associated with upregulation of foliar metallothionein and polyamine biosynthetic gene expression. *Annals of Botany*, 106(5), 791–802. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq170>
- Cioica, N., Tudora, C., Iuga, D., Deak, G., Matei, M., Nagy, E. M., Gyorgy, Z. (2019). A review on phytoremediation as an ecological method for in situ clean up of heavy metals contaminated soils. *E3S Web of Conferences*, 112, 03024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911203024>
- Clemens, S., Palmgreen, M. G., Krämer U. (2002). A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends Plant Sci*, 7 (1), 309-315. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02295-1](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02295-1)
- Clemens, S. (2001). Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. *Planta*, 212 (4), 475–486. <https://doi.org/10.1007/s004250000458>.
- Cobbett, C. (2003). Heavy metals and plants - model systems and hyperaccumulators. *New Phytologist*, 159 (2), 289–293. <http://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00832.x>

- Cochard, H., Casella, E., Mencuccini, M. (2007). Xylem vulnerability to cavitation varies among poplar and willow clones and correlates with yield. *Tree Physiology*, 27(12), 1761–1767. <https://doi.org/10.1093/treephys/27.12.1761>
- Connolly, E. L., Fett, J. P., Guerinot, M. L. (2002). Expression of the IRT1 metal transporter is controlled by metals at the levels of transcript and protein accumulation. *Plant Cell*, 14 (6), 1347–1357. <https://doi.org/10.1105/tpc.001263>
- Cooper, R. L., Cass, D. D. (2001). Comparative evaluation of vessel elements in *Salix* spp. (Salicaceae) endemic to the Athabasca sand dunes of northern Saskatchewan, Canada. *American Journal of Botany*, 88(4), 583–587. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0240-x>
10.2307/2657056
- Corseuil, H. X., Moreno, F. N. (2001). Phytoremediation potential of willow trees for aquifers contaminated with ethanol-blended gasoline. *Water Research*, 35 (12), 3013–3017. [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(00\)00588-1](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(00)00588-1)
- Cosio, C., DeSantis, L., Frey, B., Diallo, S., Keller, C. (2005). Distribution of cadmium in leaves of *Thlaspi caerulescens*. *J Exp Bot* 56, 765-775. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri062>
- Cosio, C., Vollenweider, P., Keller, C. (2006). Localization and effects of cadmium in leaves of a cadmium-tolerant willow (*Salix viminalis* L.). *Environ Exp Bot*, 58 (1-3), 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.06>
- Costa, G., Morel, I. L. (1993). Cadmium uptake by *Lypins albus* (L.): Cadmium excretion, a possible mechanism of cadmium tolerance. *J Plant Nutr*, 16 (10), 1921-1929. <https://doi.org/10.1080/01904169309364661>
- Creek, D., Blackman, C., Brodribb, T. J., Choat, B., Tissue, D. T. (2018). Coordination between leaf, stem and root hydraulics and gas exchange in three arid-zone angiosperms during severe drought and recovery. *Plant, Cell & Environment*. <https://doi.org/10.1111/pce.13418>
- Crivellaro, A., Schweingruber, F. (2013). Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs: with a Special Focus on Cyprus. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 1-589. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37235-3>
- Crivellaro, A., Schweingruber, F. (2015). Stem Anatomical Features of Dicotyledons. Xylem, Phloem, Cortex and Periderm Characteristics for Ecological and Taxonomical Analyses. Verlag Kessel, Remagen-Oberwinther, Germany.
- Cunniff, J., Purdy, S. J., Barraclough, T. J. P., Castle, M., Maddison, A. L., Jones, L. E., Shield, I. F., Gregory, A. S., Karp, A. (2015). High yielding biomass genotypes of willow (*Salix* spp.) show differences in below ground biomass allocation. *Biomass and Bioenergy*, 80, 114–127. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.04.020>
- Cunningham, S. D., Berti, W. R. (1993). Remediation of Contaminated Soils with Green Plants: An Overview. *In Vitro Cellular & Developmental Biology. Plant*, 29P (4), 207–212. <http://www.jstor.org/stable/4293003>
- Cunningham, S. D., Shann, J. R., Crowley, D. E., Anderson, T. A. (1997). Phytoremediation of contaminated soil and water. In: Kruger, E. L., Anderson, T. A., Coats, J. R. (eds). *Phytoremediation of soil and water contaminants*. ACS Symposium Series 664. American Chemical Society, Washington DC.

- Curie, C., Cassin, G., Couch, D., Divol, F., Higuchi, K., Le Jean, M., Misson, J., Schikora, A., Czernic, P., Mari, S. (2008). Metal movement within the plant: contribution of nicotianamine and yellow stripe 1-like transporters. *Annals of Botany*, 103 (1), 1–11. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn207>
- Danielescu, S., Van Stempvoort, D. R., Bickerton, G., Roy, J. W. Use of mature willows (*Salix nigra*) for hydraulic control of landfill-impacted groundwater in a temperate climate. *J Environ Manage*, 272, 111106. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111106>.
- Day, S.D., Wiseman, P.E., Dickinson, S.B., Harris, J.R. (2010). Tree Root Ecology in the Urban Environment and Implications for a Sustainable Rhizosphere. *Arboriculture & Urban Forestry*. <https://doi.org/10.48044/jauf.2010.026>
- de Almeida, A.-A. F., Valle, R. R., Mielke, M. S., Gomes, F.P. (2007). Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. *Braz J Plant Physiol* 19 (2), 83–98. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000200001>
- de Andrada Wagner, M., Moço, M. C. de C., Sawczuk, A. T., Soffiatti, P. (2009). Wood anatomy of *Salix x rubens* Schrank used for basketry in Brazil. *Hoehnea*, 36(1), 83–87. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062009000100003>
- De Silva, N. D. G., Cholewa, E., & Ryser, P. (2012). Effects of Combined Drought and Heavy Metal Stresses on Xylem Structure and Hydraulic Conductivity in Red Maple (*Acer rubrum* L.). *Journal of Experimental Botany*, 63(16), 5957–5966. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers241>
- Détienne, P. Jacquet, P. (1983). Atlas d'identification des bois de l'Amazonie et des régions voisines. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne.
- Dickinson, N. (2006). Phytoremediation ediation of industrially-contaminated sites using trees. In: Morel, JL., Echevarria, G., Goncharova, N. (eds). *Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils*. NATO Science Series, vol 68. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-4688-X_7
- Dickinson, N. M., Punshon, T., Hodkinson, R. B., Lepp, N. W. (1994). Metal tolerance and accumulation in willows. In: Aronsson, P., Perttu, K. (eds), *Willow Vegetation Filters for Municipal Wastewater and Sludges*, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, pp. 121–127.
- Dickinson, N. M., Pulford, I. D. (2005). Cadmium Phytoextraction Using Short-Rotation Coppice *Salix*: The Evidence Trail. *Environment International*, 31, 609–613. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.10.013>
- Dinelli, E., Lombini, A. (1996). Metal distributions in plants growing on copper mine spoils in Northern Apennines, Italy: the evaluation of seasonal variations. *Appl Geochem*, 11 (1-2), 375 – 85. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(95\)00071-2](https://doi.org/10.1016/0883-2927(95)00071-2)
- Disante, K. B., Fuentes, D., Cortina, J. (2011). Response to drought of Zn-stressed *Quercus suber* L. seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 70 (2-3), 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.08.008>
- Doffo, G., Monteoliva, S., Rodríguez, M. E., Luquez, V. M. C. (2017). Physiological responses to alternative flooding and drought stress episodes in two willow (*Salix* spp.) clones. *Can J For Res* 47, 174–182. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0202>

- Domec, J.-C., King, J. S., Noormets, A., Treasure, E., Gavazzi, M. J., Sun, G., McNulty, S. G. (2010). Hydraulic redistribution of soil water by roots affects whole-stand evapotranspiration and net ecosystem carbon exchange. *New Phytologist*, 18(1), 171–183. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03245.x>
- Domec, J.-C., Warren, J. M., Meinzer, F. C., Lachenbruch, B. (2009). Safety factors for xylem failure by implosion and Air-seeding within roots, trunks and branches of young and old conifer trees. *IAWA Journal*, 30 (2), 100- 120.
- Dos Santos Utmazian, M. N., Wenzel, W. W. (2007). Cadmium and zinc accumulation in willow and poplar species grown on polluted soils. *J. Plant Nutr Soil Sci*, 170 (2), 265–272. <https://doi.org/10.1002/jpln.200622073>
- Dos Santos Utmazian, M. N., Wieshammer, G., Vega, R., Wenzel, W. W. (2007). Hydroponic screening for metal resistance and accumulation of cadmium and zinc in twenty clones of willows and poplars. *Environ Pollut.* 148(1), 155-65. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.10.045>
- Dou, J., Galvis, L., Holopainen-Mantila, U., Reza, M., Tamminen, T., Vuorinen, T. (2016). Morphology and overall chemical characterization of willow (*Salix* sp.) inner bark and wood: toward controlled deconstruction of willow biomass. *ACS Sustain Chem Eng*, 4, 3871–3876. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00641>.
- Dowidar, S. M. A., Abo-Hamad, S. A., Mohsen, A. A., Khalaf, B. M. M., (2013). Bioremediation of copper stressed *Trigonella foenum graecum*. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 9(4), 5–24. ISSN 1997-0838
- Dresler, S., Hanaka, A., Bednarek, W., Maksymiec, W. (2014). Accumulation of low-molecular-weight organic acids in roots and leaf segments of *Zea mays* plants treated with cadmium and copper. *Acta Physiol. Plant.* 36, 1565–1575. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1532-x>
- Drzewiecka, K., Mleczek, M., Gąsecka, M., Magdziak, Z., Goliński, P. (2012). Changes in *Salix viminalis* L. cv. 'Cannabina' morphology and physiology in response to nickel ions--hydroponic investigations. *Journal of hazardous materials*, 217-218, 429-438. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.03.056>
- Duffus, J. H. (2002). “ Heavy metals” a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and applied chemistry*, 74, 793-807. <http://www.media.iupac.org/publications/pac/2002/pdf/7405x0793.pdf>
- Ehsan, S., Ali, S., Noureen, S., Mahmood, K., Farid, M., Ishaque, W., Shakoore, M.B., Rizwan, M. (2014). Citric acid assisted phytoremediation of cadmium by *Brassica napus* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 106: 164–172.
- El Rasafi, T., Oukarroum, A., Haddioui, A., Song, H., Kwon, E. E., Bolan, N., Tack, F. M. G., Sebastian, A., Prasad, M. N. V., Rinklebe, J. (2020). Cadmium stress in plants: A critical review of the effects, mechanisms, and tolerance strategies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1–52. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1835435>
- Elobeid, M., Göbel, C., Feussner, I., Polle, A. (2012). Cadmium interferes with auxin physiology and lignification in poplar. *Journal of Experimental Botany*, 63(3), 1413–1421. <https://doi.org/10.1093/jxb/err384>

- Emenike, C. U., Jayanthi, B., Agamuthu, P., Fauziah, S. H. (2018). Biotransformation and removal of heavy metals: a review of phytoremediation and microbial remediation assessment on contaminated soil. *Environmental Reviews*, 26 (2), 156–168. <https://doi.org/10.1139/er-2017-0045>
- Enstone, D. E., Peterson, C. A., Ma, F. (2003). Root endodermis and exodermis: structure, function, and responses to the environment. *J Plant Growth Regul*, 21, 335–351. <https://doi.org/10.1007/s00344-003-0002-2>
- Ernst, W. H. O., Verkleij, J. A. C., Schat, H. (1992). Metal tolerance in plants. *Acta Botanica Neerlandica*, 41, 229-248.
- Ettala, M. (1987). Infiltration and hydraulic conductivity at a sanitary landfill. *Aqua Fennica* 17 (1), 69 – 86.
- European Commission, (2017). Environment - Research & Innovation Policy Topics - Nature Based Solutions. Available online: <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?Pg=nbs> (Pristupljeno 29. April 2022).
- European Food Safety Authority (EFSA) (2012). Cadmium dietary exposure in the European population. *EFSA Journal* 2012, 10(1), 2551. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2012.2551>
- Evangelou, M. W. H., Robinson, B. H., Günthardt-Goerg, M. S., Schulin, R. (2013). Metal uptake and allocation in trees grown on contaminated land: implications for biomass production. *International Journal of Phytoremediation*, 15 (1), 77-90. <https://doi.org/10.1080/15226514.2012.670317>
- Evlard, A., Sergeant, K., Printz, B., Guignard, C., Renaut, J., Campanella, B., Paul, R., Hausman, J.-F. (2014). A multiple-level study of metal tolerance in *Salix fragilis* and *Salix aurita* clones. *Journal of Proteomics*, 101, 113–129. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2014.02.007>
- Fabio, E. S., Leary, C. J., Smart, L. B. (2019). Tolerance of novel inter-specific shrub willow hybrids to water stress. *Trees*, 33, 1015–1026. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01835-4>
- Fang, Z. F., Zhao, S. D., Skvortsov, A. K. (1999). Salicaceae. *Flora of China* 4: 139-279. Science Press (Beijing) & Missouri Botanical Garden Press (St. Louis).
- Favas, P. J.C., P., Pratas, J., Varun, M., D'Souza, R., Paul, M. S. (2014). Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flora. In: Hernandez Soriano, M. C. (eds). *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*, pp 485-517. <https://doi.org/10.5772/57469>
- Fichot, R., Barigah, T. S., Chamaillard, S., Le Thiec, D., Cochard H., Brignolas F. (2010). Common trade-offs between xylem resistance to cavitation and other physiological traits do not hold among unrelated *Populus deltoides* × *Populus nigra* hybrids. *Plant, Cell & Environment*, 33 (9), 1553–1568. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02164.x>
- Fichot, R., Laurans, F., Monclus, R., Moreau, A., Pilate, G., Brignolas, F. (2009). Xylem anatomy correlates with gas exchange, water use efficiency and growth performance under contrasting water regimes: evidence from *Populus deltoides* × *Populus nigra* hybrids. *Tree Physiol*, 29 (12), 1537-1549. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpp087>

- Fischerová, Z., Tlustoš, P., Száková, J., Šichorová, K. (2006). A comparison of phytoremediation capability of selected plant species for given trace elements. *Environ Pollut*, 144 (1), 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.01.005>
- Fjell, I. (1987). Ultrastructural features of differentiating protophloem sieve elements in adventitious roots of *Salix viminalis*. *Nordic Journal of Botany*, 7(2), 135–151. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1987.tb00927.x>
- Frédette, C., Grebenschchykova, Z., Comeau, Y., Brisson, J. (2019). Evapotranspiration of a willow cultivar (*Salix miyabeana* SX67) grown in a full-scale treatment wetland. *Ecological Engineering*, 127, 254-262. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.11.027>
- Freschet GT, Pages L, Iversen CM, Comas LH, Rewald B, Roumet C, Klimesova J, Zadworny M, Poorter H, Postma JA, Adams TS, Bagniewska-Zadworna A, Bengough AG, Blancaflor EB, Brunner I, Cornelissen JHC, Garnier E, Gessler A, Hobbie SE, Meier IC, Mommer L, Picon-Cochard C, Rose L, Ryser P, Scherer-Lorenzen M, Soudzilovskaia NA, Stokes, A, Sun T, Valverde-Barrantes OJ, Weemstra M, Weigelt A, Wurzbürger N, York LM, Batterman SA, Gomes de Moraes M, Janecek S, Lambers H, Salmon V, Tharayil N, McCormack ML. (2021). A starting guide to root ecology: strengthening ecological concepts and standardising root classification, sampling, processing and trait measurements. *New Phytol*. 232:973-1122. <https://doi.org/10.1111/nph.17572>
- Froux, F., Ducrey, M., Dreyer, E. et al. Vulnerability to embolism differs in roots and shoots and among three Mediterranean conifers: consequences for stomatal regulation of water loss?. *Trees* 19, 137–144 (2005). <https://doi.org/10.1007/s00468-004-0372-5>
- Fuksová, Z., Száková, J., Tlustoš, P. (2009). Effects of co-cropping on bioaccumulation of trace elements in *Thlaspi caerulescens* and *Salix dasyclados*. *Plant Soil Environ*, 55, 2009 (11), 461–467. <https://doi.org/10.17221/42/2009-PSE>
- Gallego, S. M., Pena, L. B., Barcia, R. A., Azpilicueta, C. E., Iannone, M. F., Rosales, E. P., Zawoznik, M. S., Groppa, M. D., Benavides, M. P. (2012). Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: Insight into regulatory mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*, 83, 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.04.006>
- Gao, J., Jebrane, M., Terziev, N., Daniel, G. (2021). Evaluation of Wood Quality Traits in *Salix viminalis* Useful for Biofuels: Characterization and Method Development. *Forests*, 12, 1048. <https://doi.org/10.3390/f12081048>
- Gärtner-Roer, I., Heinrich, I., Gärtner, H. (2013). Wood anatomical analysis of Swiss willow (*Salix helvetica*) shrubs growing on creeping mountain permafrost. *Dendrochronologia*, 31(2), 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2012.09.003>
- Gharge, S. Menon, G. (2017). Morpho-anatomical adaptations in some herbs growing near Ulhas river polluted with industrial effluent. *Intl J Bot Studies*, 2 (4), 43-48.
- Ghori, Z., Iftikhar, H., Bhatti, M. F., Nasar-um-Minullah, Sharma, I. Kazi, A. G., Ahmad, P. (2016). Chapter 15 - Phytoextraction: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Soil. In: Parvaiz Ahmad (eds). *Plant Metal Interaction*, pp 385-409. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00015-1>
- Gleason, S. M., Blackman, C. J., Cook, A. M., Laws, C. A., Westoby, M. (2014). Whole-plant capacitance, embolism resistance and slow transpiration rates all contribute to longer desiccation times in woody angiosperms from arid and wet habitats. *Tree Physiology*, 34 (3), 275– 285. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu001>

- Gleason, S. M., Westoby, M., Jansen, S., Choat, B., Hacke, U. G., Pratt, R. B., Brodribb, T. J., Bucci, S. J., Cao, K.-F., Cochard, H., Delzon, S., Domec, J.-C., Fan, Z.-X., Feild, T. S., Jacobsen, A. L., Johnson, D. M., Lens, F., Maherali, H., Martínez-Vilalta, J., Mayr, S., McCulloh, K. A., Mencuccini, M., Mitchell, P. J., Morris, H., Nardini, A., Pittermann, J., Plavcová, L., Schreiber, S. G., Sperry, J. S., Wright, I. J., Zanne, A. E. (2016). Weak tradeoff between xylem safety and xylem-specific hydraulic efficiency across the world's woody plant species. *New Phytol*, 209, 123–136. <https://doi.org/10.1111/nph.13646>
- Gloser, V., Baláž, M., Svoboda P. (2011). Analysis of anatomical and functional traits of xylem in *Humulus lupulus* L. stems. *Plant, Soil and Environment, Czech Academy of Agricultural Sciences*, 57 (7), 338-343. <https://doi.org/10.17221/63/2011-PSE>
- Gomes, M. P., Marques, T. C. L. L. de S. e M., Nogueira, M. de O. G., Castro, E. M. de, Soares, Â. M. (2011). Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens*. *Scientia Agricola*, 68(5), 566–573. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000500009>
- Gonçalves, B., Correia, C. M., Silva, A. P., Bacelar, E. A., Santos, A., Ferreira, H., Moutinho-Pereira, J. M. Variation in xylem structure and function in roots and stems of scion-rootstock combinations of sweet cherry tree (*Prunus avium* L.). *Trees*. 2007;21:121-30. <https://doi.org/10.1007/s00468-006-0102-2>
- González-Oreja, J. A., Rozas, M., Alkorta, I., Garbisu, C. (2008). Dendroremediation of Heavy Metal Polluted Soils. *Reviews on Environmental Health*, 23(3). <https://doi.org/10.1515/reveh.2008.23.3.223>
- Gostin, I., Ivanescu, L., (2007). Structural and micromorphological changes in leaves of *Salix alba* under air pollution effect. *International Journal of Energy and Environment*, 1: 219-226.
- Gratão, P. L., Monteiro, C. C., Rossi, M. L., Martinelli, A. P., Peres, L. E. P., Medici, L. O., Lea, P. J., Azevedo, R. A. (2009). Differential ultrastructural changes in tomato hormonal mutants exposed to cadmium. *Environ Exp Bot* 67 (2), 387–394. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.017>
- Greene, P. R. (2017). Branch-rooting the weeping willow: *Salix babylonica* growth rates. *International Journal of Botany Studies*, 2 (2), 28-31. <https://www.botanyjournals.com/assets/archives/2017/vol2issue2/1-7-23-302.pdf>
- Greger, M. (2004). Metal Availability, Uptake, Transport and Accumulation in Plants. In: Prasad, M. N. V. (eds), *Heavy Metal Stress in Plants*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-07743-6_1
- Greger, M., Landberg, T. (1999). Use of willow in phytoextraction. *International Journal of Phytoremediation*, 1 (2), 115–123. <https://doi.org/10.1080/15226519908500010>
- Grennan, A. K. (2009). Identification of Genes Involved in Metal Transport in Plants. *Plant Physiology*, 149 (4), 1623–1624. <https://doi.org/10.1104/pp.109.900287>
- Grifoni, M., Pedron, F., Barbaferri, M., Rosellini, I., Petruzzelli, G., Franchi, E. (2021). Sustainable Valorization of Biomass: From Assisted Phytoremediation to Green Energy Production. *Handbook of Assisted and Amendment: Enhanced Sustainable Remediation Technology*, 29–51. <https://doi.org/10.1002/9781119670391.ch2>

- Grigore, M. N., Toma C. (2007). Histo-anatomical strategies of Chenopodiaceae halophytes: adaptive, ecological and evolutionary implications. *WSEAS Trans Biol Biomed*, 12 (4), pp. 204-218.
- Gu, J., Qi, L., Jiang, W., Liu, D. (2007). Cadmium accumulation and its effects on growth and gas exchange in four *Populus* cultivars. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 49 (2), 7–14.
- Guerinot, M. L. (2000). The ZIP Family of Metal Transporters. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 1465, 190-198. [https://doi.org/10.1016/S0005-2736\(00\)00138-3](https://doi.org/10.1016/S0005-2736(00)00138-3)
- Guerra, F., Gainza, F., Perez, R., & Zamudio, F. (2011). Phytoremediation of heavy metals using poplars (*Populus* spp.): a glimpse of the plant responses to copper, cadmium and zinc stress. In: Golubev, I. A. (Ed.), *Handbook of phytoremediation*. New York: Nova Science.
- Guet, J., Fichot, R., Lédée, C., Laurans, F., Cochard, H., Delzon, S., Bastien, C., Brignolas, F. (2015). Stem xylem resistance to cavitation is related to xylem structure but not to growth and water-use efficiency at the within-population level in *Populus nigra* L. *Journal of Experimental Botany*, 66 (15), 4643–4652. . <https://doi.org/10.1093/jxb/erv232>
- Günthardt-Goerg, M. S., Vollenweider, P. (2007): Linking stress with macroscopic and microscopic leaf response in trees: New diagnostic perspectives. *Environmental Pollution* 147 (3), 467-488. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.08.033>
- Guo, D., Xia, M., Wei, X., Chang, W., Liu, Y. & Wang, Z. (2008) Anatomical traits associated with absorption and mycorrhizal colonization are linked to root branch order in twenty-three Chinese temperate tree species. *New Phytologist*, 180, 673– 683.
- Guo, L., Ott, D. W., Cutright, T. J. (2014). Accumulation and histological location of heavy metals in *Phragmites australis* grown in acid mine drainage contaminated soil with or without citric acid. *Environmental and Experimental Botany*, 105, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.04.010>
- Hacke, U. G., Spicer, R., Schreiber, S. G., Plavcová, L. (2016). An ecophysiological and developmental perspective on variation in vessel diameter. *Plant, Cell & Environment*, 40 (6), 831–845. <https://doi.org/10.1111/pce.12777>
- Hacke, U.G., Sperry, J.S., Wheeler, J.K. Castro, L. (2006). Scaling of angiosperm xylem structure with safety and efficiency. *Tree Physiology* 26, 689–701. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.6.689>
- Haider, F. U., Liqun, C., Coulter, J. A., Cheema, S. A., Wu, J., Zhang, R., Wenjun, M., Farooq, M. (2021). Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111887. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>
- Hajek, P., Leuschner, C., Hertel, D., Delzon, S., Schuldt, B. (2014). Trade-offs between xylem hydraulic properties, wood anatomy and yield in *Populus*. *Tree Physiol*, 34 (7) 744–756. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu048>
- Hall, J. L. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *J Exp Bot*, 53 (366), 1–11. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.1>

- Hamim, H., Miftahudin, M., Setyaningsih, L., (2018). Cellular and ultrastructure alteration of plant roots in response to metal stress. In *Plant Growth and Regulation-Alterations to Sustain Unfavorable Conditions*. IntechOpen. London. 21–41.
- Hamzehloo, S., Ghahremaninejad, F., Hoseini, E. (2020). Petiole anatomical features in *Salix* and some of its relatives in the family Salicaceae. 21. 185-205. <https://doi.org/10.22092/BOTANY.2020.343283.1205>.
- Han, X., Zhao, Y., Chen, Y., Xu, J., Jiang, C., Wang, X., Zhuo, R., Lu, M.-Z., Zhang, J. (2022). Lignin biosynthesis and accumulation in response to abiotic stresses in woody plants. *Forestry Research* 2, 9 <https://doi.org/10.48130/FR-2022-0009>
- Hangs, R. D., Schoenau, J. J., Van Rees, K. C. J. Steppuhn, H. (2011). Examining the salt tolerance of willow (*Salix* spp.) bioenergy species for use on salt-affected agricultural lands. *Can J Plant Sci*, 91, 509–517. <https://doi.org/10.4141/cjps10135>
- Harada, E., Hokura, A., Nakai, I., Terada, Y., Baba, K., Yazaki, K., Shiono, M., Mizuno, N., Mizuno, T. (2011). Assessment of willow (*Salix* sp.) as a woody heavy metal accumulator: field survey and in vivo X-ray analyses. *Metallomics*, 3 (12), 1340. <https://doi.org/10.1039/c1mt00102g>
- Harada, E., Hokura, A., Takada, S., Baba, K., Terada, Y., Nakai, I., Yazaki, K. (2010). Characterization of Cadmium Accumulation in Willow as a Woody Metal Accumulator Using Synchrotron Radiation-Based X-Ray Microanalyses. *Plant and Cell Physiology*, 51(5), 848–853. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcq039>
- Hasan, S. A., Fariduddin, Q., Ali, B., Hayat, S., Ahmad A. (2009). Cadmium: toxicity and tolerance in plants. *J Environ Biol*, 30 (2), 165-174. <http://www.jeb.co.in>
- Helmisaari, H.-S., Salemaa, M., Derome, J., Kiikkilä, O., Uhlig, C., Nieminen, T. M. (2007). Remediation of Heavy Metal–Contaminated Forest Soil Using Recycled Organic Matter and Native Woody Plants. *Journal of Environment Quality*, 36 (4), 1145. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0319>
- Hermans, C., Chen, J., Coppens, F., Inzé, D., Verbruggen, N. (2011). Low magnesium status in plants enhances tolerance to cadmium exposure. *New Phytologist*, 192 (2), 428–436. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03814.x>
- Hermle, S., Vollenweider, P., Günthardt-Goerg, M.S., Mcquattie, C.J., Matyssek, R. (2007). Leaf responsiveness of *Populus tremula* and *Salix viminalis* to soil contaminated with heavy metals and acidic rainwater. *Tree Physiology* 27, 1517–1531. <https://doi.org/10.1093/treephys/27.11.1517>
- Hose, E., Clarkson, D.T., Steudle, E., Schreiber, L., Hartung, W. (2001). The exodermis: a variable apoplastic barrier. *J Exp Bot.*, 52 (365), 2245-2264. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.365.2245>
- Hrkić Ilić, Z., Borišev, M., Zorić, L., Arsenov, D., Luković, J. (2022). Assessment of differences in anatomical and hydraulic properties of the root and xylem of three willow (*Salix* L.) clones during phytostabilization after exposure to elevated cadmium. *Arch Biol Sci*, 74(2): 169-180. <https://doi.org/10.2298/ABS220309016H>
- Hrkić Ilić, Z., Pajević, S., Borišev, M., Luković, J. (2020). Assessment of phytostabilization potential of two *Salix* L. clones based on the effects of heavy metals on the root anatomical traits. *Environ Sci Pollut Res*, 27 (23), 29361–29383. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09228-8>

- Hu, L., Zhang, Z., Xiang, Z., Yang, Z. (2016). Exogenous application of citric acid ameliorates the adverse effect of heat stress in tall fescue (*Lolium arundinaceum*). *Front Plant Sci*, 7, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00179>
- Huang, K., Yu, C., Qian, H., Shanguan, F., Tang, L., Zhang, B., Xie, J. (2022). Relationship between xylem structure and function of diffuse-porous and ring-porous wood species in Jigongshan Nature Reserve[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 39 (2), 244-251. <https://doi.org/10.11833/j.issn.2095-0756.20210628>
- Hukin, D., Cochard, H., Dreyer, E., Thiec, D. L., Bogeat-Triboulot, M. B. (2005). Cavitation vulnerability in roots and shoots: does *Populus euphratica* Oliv., a poplar from arid areas of Central Asia, differ from other poplar species? *Journal of Experimental Botany*, 56(418), 2003–2010. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri198>
- Indian Bureau Of Mines (2021). Indian Minerals Yearbook 2019 (Part - II : Metals and Alloys). 58th Edition CADMIUM (FINAL RELEASE). https://www.ibm.gov.in/writereaddata/files/10082021113757Cadmium_2019.pdf
- International Phytotechnology Society (2019) What is Phytotechnology? International Phytotechnology Society. <https://phytosociety.org/>
- Iori, V., Pietrini, F., Massacci, A., & Zacchini, M. (2011). Induction of metal binding compounds and antioxidative defence in callus cultures of two black poplar (*P. nigra*) clones with different tolerance to cadmium. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 108 (1), 17-26. <https://doi.org/10.1007/s11240-011-0006-8>
- Irfan, M., Hayat, S., Ahmad, A., Alyemeni, M. N. (2013). Soil cadmium enrichment: Allocation and plant physiological manifestations. *Saudi J Biol Sci*, 20 (1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.11.004>
- Isaure, M.-P., Fayard, B., Sarret, G., Pairis, S., Bourguignon, J. (2006). Localization and chemical forms of cadmium in plant samples by combining analytical electron microscopy and X-ray spectromicroscopy. *Spectrochimica Acta Part B* 61, 1242-1252.
- Ismael, M. A., Elyamine, A. M., Moussa, M. G., Cai, M., Zhao, X., Hu, C. (2018). Cadmium in plants: uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers. *Metallomics*, 11 (2), 255-277. <https://doi.org/10.1039/c8mt00247a>
- Jackson, M.B., Attwood, P.A. Roots of willow (*Salix viminalis* L.) show marked tolerance to oxygen shortage in flooded soils and in solution culture. *Plant Soil* 187, 37–45 (1996). <https://doi.org/10.1007/BF00011655>
- Jacobsen, A. L., Valdovinos-Ayala, J., Rodriguez-Zaccaro, F. D., Hill-Crim, M. A., Percolla, M. I., & Venturas, M. D. (2018). Intra-organismal variation in the structure of plant vascular transport tissues in poplar trees. *Trees - Structure and Function* 32, 1335-1346. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1714-z>
- Jagdale, S.C., Chabukswar, A.R. (2016). Phyto-Remediation: Using Plants to Clean Up Soils: Phyto-Remediation. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-9734-8.CH011>
- Jali, P., Pradhan, C., Das, A.B. (2016). Effects of cadmium toxicity in plants: a review article. *Sch Acad J Biosci*, 4, 1074-1081. <https://doi.org/10.21276/sajb.2016.4.12.3>
- Jama-Rodzeńska, A., Nowak, W. (2012). Nickel and lead uptake by willows (*Salix viminalis* L.). *Pol J Agron*. 11, 29–33.

- James, S. A., Meinzer, F. C., Goldstein, G., Woodruff, D., Jones, T., Restom, T., Mejia, M., Clearwater, M., Campanello, P. (2003). Axial and radial water transport and internal water storage in tropical forest canopy trees. *Oecologia*, 134 (1), 37-45. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1080-8>
- Janssen, T.A., Hölttä, T., Fleischer, K., Naudts, K., Dolman, A. (2019). Wood allocation trade-offs between fiber wall, fiber lumen, and axial parenchyma drive drought resistance in neotropical trees. *Plant, Cell & Environment*, 43, 965 - 980. <https://doi.org/10.1111/pce.13687>
- Jentschke, G., Godbold, D. L. (2000). Metal toxicity and ectomycorrhizas. *Physiologia Plantarum*, 109 (2), 107–116. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2000.100201.x>
- Johnson, D. M., Wortemann, R., McCulloh, K. A., Jordan-Meille, L., Ward, E., Warren, J. M., Palmroth, S., Domec, J. C. (2016). A test of the hydraulic vulnerability segmentation hypothesis in angiosperm and conifer tree species. *Tree Physiology*, 36, 983– 993. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpw031>
- Ju, Y.-H., Roy, S. K., Roy Choudhury, A., Kwon, S.-J., Choi, J.-Y., Rahman, M. A., Katsube-Tanaka, T., Shiraiwa, T., Lee, M.-S., Cho, K., Woo, S.-H. (2021). Proteome Changes Reveal the Protective Roles of Exogenous Citric Acid in Alleviating Cu Toxicity in *Brassica napus* L. *Int J Mol Sci*, 22, 5879. <https://doi.org/10.3390/ijms22115879>
- Jung, C., Maeder, V., Funk, F., Frey, B., Sticher, H., Frossard, E. (2003). Release of phenols from *Lupinus albus* L. roots exposed to Cu and their possible role in Cu detoxification. *Plant Soil* 252, 301-312. <https://doi.org/10.1023/A:1024775803759>
- Jung, H.G., W. Ni. (1998). Lignification of plant cell walls: impact of genetic manipulation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95:12742–12743
- Jupa, R., Baláž, M., Svoboda, P., Gloser, V. (2013). Inherent variability in structural and functional traits of xylem among three hop varieties. *Plant, Soil and Environment*, 59 (6), 273–279. <https://doi.org/10.17221/32/2013-pse>
- Jupa, R., Plavcová, L., Gloser, V., Jansen, S. (2016). Linking xylem water storage with anatomical parameters in five temperate tree species. *Tree Physiol.* 36, 756– 769.
- Juranović Cindrić, I., Zeiner, M., Starčević, A., Stinger, G. (2019) Metals in pine needles: characterisation of bioindicators depending on species. *Int J Environ Sci Technol*, 16, 4339–4346. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2096-x>
- Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace Elements in Soils and Plants*. 3rd Edition, CRC Press, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9781420039900>
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace Elements in Soils and Plants* (4th Edition). CRC Press LLC, Boca Raton, London, NewYork, Washington, D.C., 534 pp. <https://doi.org/10.1201/b10158>
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A. B. (2007). *Trace Elements from Soil to Human*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-32714-1>
- Kabata-Pendias, A., Szteke, B. (2015). *Trace elements in abiotic and biotic environments*. CRS Press, Francis & Taylor Group, Boca Raton Fl., pp. 440. <https://doi.org/10.1201/b18198>

- Kacálková, L., Tlustoš, P., Száková, J. (2014). Chromium, nickel, cadmium, and lead accumulation in maize, sunflower, willow, and poplar. *Pol J Environ Stud*, 23 (3), 753–761.
- Kacálková, L., Tlustoš, P., Száková, J. (2015). Phytoextraction of Risk Elements by Willow and Poplar Trees, *International Journal of Phytoremediation*, 17 (5), 414-421, <https://doi.org/10.1080/15226514.2014.910171>
- Karp, A (2014). Willows as a Source of Renewable Fuels and Diverse Products. In: Fenning, T. (eds). *Challenges and Opportunities for the World's Forests in the 21st Century*. Forestry Sciences, vol 81. Springer, Dordrecht, pp 617-641. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7076-8_27.
- Karp, A., Hanley, S. J., Trybush, S. O., Macalpine, W., Pei, M., Shield, I. (2011). Genetic improvement of willow for bioenergy and biofuels. *J Integr Plant Biol*, 53, 151–165. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2010.01015.x>
- Kasim, W. A. (2006). Changes induced by copper and cadmium stress in the anatomy and grain yield of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Int J Agri Bio* 8, 123–128.
- Kastori, R., Petrović, N., Arsenijević-Maksimović, I. (1997). Teški metali i biljke. U: Kastori, R. (ur.). *Teški metali u životnoj sredini*. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, Srbija.
- Kastori, R.; Petrović, M.; Petrović, N. Effect of excess lead, cadmium, copper, and zinc on water relations in sunflower. *J. Plant Nutr.* 1992, 15, 2427–2439. <https://doi.org/10.1080/01904169209364485>
- Keller, C., Hammer, D., Kayser, A., Richner, W., Brodbeck, M., Sennhauser, M. (2003): Root development and heavy metal phytoextraction efficiency: Comparison of different plant species in the field. *Plant and Soil*, 249, 67-81. <https://doi.org/10.1023/A:1022590609042>
- Keoleian, G. A., Volk, T. A. (2005). Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24: 385-406. <https://doi.org/10.1080/07352680500316334>
- Khalid, S., Shahid, M., Niazi, N. K., Murtaza, B., Bibi, I., Dumat, C. (2017). A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 247–268. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.11.021>
- Khalili, Z., Maassoumi, A. A., Ghahremaninejad, F., Mirzaie-Nodoushan, H. (2010). Foliar Anatomy of some *Salix* (Salicaceae) in Iran. *Iranian Jour Botany*, 16 (1) 293-302.
- Khudsar, T., Mahmooduzzafar, Iqbal, M. (2001). Cadmium-induced changes in leaf epidermis, photosynthetic rate and pigment concentration in *Cajanus cajan*. *Biol Plant*, 44, 59–64.
- Kim, I. S., Kang, K. H., Johnson-Green, P., Lee, E. J. (2003). Investigation of heavy metal accumulation in *Polygonum thunbergii* for phytoextraction. *Environmental Pollution*, 126 (2), 235–243. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00190-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00190-8)
- Kim, S. H., Lee, I. S. (2010). Comparison of the ability of organic acids and EDTA to enhance the phytoextraction of metals from a multi-metal contaminated soil. *Bull Environ Contam Toxicol*, 84 (2), 255-9. <https://doi.org/10.1007/s00128-009-9888-0>.

- Kiorapostolou, N., Da Sois, L., Petruzzellis, F., Savi, T., Trifilò, P., Nardini, A., Petit, G. (2019). Vulnerability to xylem embolism correlates to wood parenchyma fraction in angiosperms but not in gymnosperms. *Tree Physiol*, 39 (10), 1675-1684. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpz068>.
- Kirfel, K., Leuschner, C., Hertel, D., Schuldt, B. (2017). Influence of Root Diameter and Soil Depth on the Xylem Anatomy of Fine- to Medium-Sized Roots of Mature Beech Trees in the Top- and Subsoil. *Front Plant Sci*, 8, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01194>
- Klang-Westin, E., Eriksson, J. (2003). Potential of *Salix* as phytoextractor for Cd on moderately contaminated soils. *Plant and Soil*, 249 (1), 127-137. <https://doi.org/10.1023/A:1022585404481>
- Klašnja, B., Kopitović, Š. (1997). Structural-physical characteristics and chemical composition of wood of some white willow clones (*Salix alba* L.). *Drevarsky vyskum* 42 (1), 1-10.
- Klašnja, B., Kopitović, Š. (1999). Quality of wood of some willow and robinia clones as fuelwood. *Drevarsky vyskum* 44 (2), 9-18.
- Klašnja, B., Kopitović, S., Orlović, S. (2001). Wood of some poplar and willow clones as raw material for kraft pulp production. *Drevarsky vyskum* 46(4), 1-8.
- Klašnja, B., Kopitović, Š., Orlović, S. (2002). Wood and bark of some poplar and willow clones as fuelwood *Biomass and Bioenergy* 23, 427-432.
- Klašnja, B., Orlović, S., Galić, Z., Kebert, M. (2010). Hemijski sastav i fizičke osobine drveta nekoliko klonova bele vrbe (*Salix alba*). *Topola* No 185/186, str. 41-50, UDK: 582.623:674.02
- Klašnja, B., Orlović, S., Radosavljević, N., Marković, M. (2005). Drvo vrbe (*Salix alba*) kao sirovina za proizvodnju vlakana. *Hemijska industrija* 59, 7/8, 175-179.
- Knox, A., Seaman, J. C., Mench, M. J., Vangronsveld, J. (2001). Remediation of Metal- and Radionuclides-Contaminated Soils by In Situ Stabilization Techniques. pp 21-53. In: Iskandar, I. K. (ed.), *Environmental Restoration of Metals-Contaminated Soils*. <https://doi.org/10.1201/9781420026269.ch2>.
- Komives, T., Gullner, G. (2006). Dendroremediation: The Use of Trees in Cleaning up Polluted Soils. In: Mackova, M., Dowling, D., Macek, T. (eds). *Phytoremediation Rhizoremediation.*, vol 9A, pp 23–31. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4999-4_3
- Koptsik, G.N. (2014). Problems and prospects concerning the phytoremediation of heavy metal polluted soils: A review. *Eurasian Soil Sc*, 47, 923–939. <https://doi.org/10.1134/S1064229314090075>
- Kovačević, B., Orlović, S., Pekeč, S., Katanić, M., Stojnić, S. (2010). Varijabilnost svojstava ožiljavanja bele vrbe. *Topola* No 185/186, str. 27-40, UDK: 582.623:631.541.1
- Kovačević, G., Kastori, R., Merkulov, Lj. (1999). Dry matter and leaf structure in young wheat plants as affected by cadmium, lead, and nickel. *Biologia plantarum* 41 (1), 119-123.
- Krstić, B., Oljača, R., Stanković, D. (2011). *Fiziologija drvenastih biljaka*, Grafomark, Laktaši.

- Krzesłowska, M. (2011). The cell wall in plant cell response to trace metals: polysaccharide remodeling and its role in defense strategy. *Acta Physiol Plant*, 33, 35–51. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0581-z>
- Kubátová, P., Száková, J., Břendová, K., Kroulíková-Vondráčková, S., Mercl, F., Tlustoš, P. (2018). Effects of summer and winter harvesting on element phytoextraction efficiency of *Salix* and *Populus* clones planted on contaminated soil, *International Journal of Phytoremediation*, 20 (5), 499-506. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1393393>
- Kubier, A., Wilkin, R. T., Pichler, T. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review. *Applied Geochemistry*, 104388. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104388>
- Kubinová, L. (1993). Recent stereological methods for measuring leaf anatomical characteristics: estimation of the number and sizes of stomata and mesophyll cells. *Journal of Experimental Botany*, 45 (270), pp. 119-127.
- Kubinová, L., Albrechtová, J. (1999). *Stereology in Plant Anatomy. Textbook to the International Course on Stereology in Plant Anatomy*, Prague, CZ.
- Kumar, M., Waite, P.-A., Paligi, S. S., Schuldt, B. (2022). Influence of Juvenile Growth on Xylem Safety and Efficiency in Three Temperate Tree Species. *Forests*, 13 (6), 909. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/f13060909>
- Kumpiene, J., Mench, M.J., Bes, C.M., Fitts, J.P. (2011). Assessment of aided phytostabilization of copper-contaminated soil by X-ray absorption spectroscopy and chemical extractions. *Environmental pollution*, 159 6, 1536-1542. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.005>
- Küpper, H. (2017). Lead - Its Effects on Environment and Health. In: Sigel, A., Sigel, H., Sigel, R. K. O., eds. *Lead: its effects on environment and health*. Berlin: Walter de Gruyter, GmbH, 491–500 pp.
- Küpper, H., Andresen, E. (2016). Mechanisms of metal toxicity in plants. *Metallomics*, 8(3), 269–285. <https://doi.org/10.1039/c5mt00244c>
- Kuzovkina, Y. A., Knee, M., Quigley, M. F. (2004). Metal Resistance and Accumulation in North American Willow (*Salix* L.) Species. Working Party on Environmental Applications of Poplar and Willow, pp. 151. 22nd session of the International poplar Commission and 24nd session of its Executive Committee, Santiago, Chile.
- Kuzovkina, Y. A., Quigley, M. F. (2005). Willows Beyond wetlands: Uses of *Salix* L. species for environmental projects. *Water Air Soil Pollut*, 162, 183-204. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-6272-5>
- Kuzovkina, Y. A., Volk T.A. (2009). The characterization of willow (*Salix* L.) varieties for use in ecological engineering applications: co-ordination of structure, function and autecology. *Ecological Engineering*, 35, 1178-1189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.03.010>
- Kuzovkina, Y. A., Weih, M., Romero, M. A., Charles, J., Hust, S., McIvor, I., Karp, A., Trybush, S., Labrecque, M., Teodorescu, T. I., Singh, N. B., Smart, L. B., Vo, T. A. (2008). *Salix: Botany and global horticulture*. In: Janick, J. (ed.) *Horticultural reviews*. Wiley, Hoboken, pp 447–489. <https://doi.org/10.1002/9780470380147.ch8>
- Labrecque, M., Teodorescu, T. I. (2003). High biomass yield achieved by *Salix* clones in SRIC following two 3-year coppice rotations on abandoned farmland in southern Quebec,

Canada. *Biomass & Bioenergy*, 25, 135-146. <https://doi.org/10.1016/S0961-9534%2802%2900192-7>

Lakkakula, N. R., Lima, M., Walker, T. (2004). Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating. *Bioresource Technology*, 92 (2), 157–161. doi:10.1016/j.biortech.2003.08.010

Lamoreaux, R. J., Chaney, W. R. (1977). Growth and water movement in silver maple seedlings affected by cadmium. *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America* 6 (2), 201–205. <https://doi.org/10.2134/jeq1977.00472425000600020021x>.

Landberg, T., Greger, M. (1996). Differences in uptake and tolerance to heavy metals in *Salix* from unpolluted and polluted areas. *Appl. Geochem*, 11 (1-2), 175–180. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(95\)00082-8](https://doi.org/10.1016/0883-2927(95)00082-8)

Lane, T. W., Saito, M. A., George, G. N., Pickering, I. J., Prince, R. C., Morel, F. M. M. (2005). A cadmium enzyme from a marine diatom. *Nature* 435, 42. <https://doi.org/10.1038/435042a>

Langholtz, M., Carter, D. R., Rockwood, D. L., Alavalapati, J. R. R., Green, A. (2005). Effect of dendroremediation incentives on the profitability of short-rotation woody cropping of *Eucalyptus grandis*. *Forest Policy and Economics*, 7(5), 806–817. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2005.03.005>

Lebrun, M., Miard, F., Nandillon, R., Léger, J. - C., Hattab-Hambli, N., Scippa, G. S., Bourgerie, S., Morabito, D. (2018). Assisted phytostabilization of a multicontaminated mine technosol using biochar amendment: early stage evaluation of biochar feedstock and particle size effects on as and Pb accumulation of two Salicaceae species (*Salix viminalis* and *Populus euramericana*). *Chemosphere* 194: 316–326. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.113>

Lens, F., Gleason, S. M., Bortolami, G., Brodersen, C., Delzon, S., Jansen, S. (2022). Functional xylem characteristics associated with drought-induced embolism in angiosperms. *New Phytologist*, 236 (6), 2019-2036. <https://doi.org/10.1111/nph.18447>

Lens, F., Sperry, J. S., Christman, M. A., Choat, B., Rabaey, D., Jansen, S. (2010). Testing hypotheses that link wood anatomy to cavitation resistance and hydraulic conductivity in the genus *Acer*. *New Phytologist*, 190 (3), 709–723. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03518.x>

Leroux, O. (2012). Collenchyma: a versatile mechanical tissue with dynamic cell walls. *Annals of Botany*, 110 (6), 1083–1098. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs186>

Levionnois S., Jansen S., Wandji R.T., Beauchêne J., Ziegler C., Coste S., Stahl C., Delzon S., Authier L., Heuret P. (2021). Linking drought-induced xylem embolism resistance to wood anatomical traits in Neotropical trees. *New Phytologist*, 229, 1453– 1466. <https://doi.org/10.1111/nph.16942>

Levionnois S., Ziegler C., Jansen S., Calvet E., Coste S., Stahl C., Salmon C., Delzon S., Guichard C., Heuret P. (2020). Vulnerability and hydraulic segmentations at the stem–leaf transition: coordination across Neotropical trees. *New Phytologist*, 228, 512– 524. <https://doi.org/10.1111/nph.16723>

- Li, D., Si, J., Zhang, X., Gao, Y., Luo, H., Qin, J., Gao, G. (2019). The Mechanism of Changes in Hydraulic Properties of *Populus euphratica* in Response to Drought Stress. *Forests*, 10 (10), 904. <https://doi.org/10.3390/f10100904>
- Li, J.Y., Zhao, C.Y., Li, J., Yan, Y.Y., Yu, B., Han, M. (2013). Growth and leaf gas exchange in *Populus euphratica* across soil water and salinity gradients. *Photosynthetica*, 51, 321–329. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0028-z>
- Li, L., Wang, Y., Shen, W. (2012). Roles of hydrogen sulfide and nitric oxide in the alleviation of cadmium-induced oxidative damage in alfalfa seedling roots. *BioMetals*, 25, 617–631. <https://doi.org/10.1007/s10534-012-9551-9>
- Li, S., Lens, F., Espino, S., Karimi, Z., Klepsch, M., Schenk, H. J., Schmitt, M., Schuldt, B., Jansen, S. (2016). Intervessel pit membrane thickness as a key determinant of embolism resistance in angiosperm xylem. *IAWA Journal*, 37: 152–171.
- Li, Y., Chen, W., Chen, J., Shi, H. (2016). Contrasting hydraulic strategies in *Salix psammophila* and *Caragana korshinskii* in the southern Mu Us Desert, China. *Ecological Research*, 31 (6), 869–880. <https://doi.org/10.1007/s11284-016-1396-1>
- Li, Y., Wang, Y., Khan, M. A., Luo, W., Xiang, Z., Xu, W., Zhong, B., Ma, J., Ye, Z., Zhu, Y., Duan, L., Liu, D. (2021). Effect of plant extracts and citric acid on phytoremediation of metal-contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 211, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111902>
- Lindroth, A., Cienciala, E. (1996). Water use efficiency of short-rotation *Salix viminalis* at leaf, tree and stand scales. *Tree physiology*, 16, 257-262. <https://doi.org/10.1093/TREEPHYS%2F16.1-2.257>
- Lintunen, A., & Kalliokoski, T. (2010). The effect of tree architecture on conduit diameter and frequency from small distal roots to branch tips in *Betula pendula*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Tree physiology*, 30 11, 1433-1447. <https://doi.org/10.1093/treephys%2Ftpq085>
- Liu, H., Ye, Q., Gleason, S. M., He, P., Yin, D. (2021). Weak tradeoff between xylem hydraulic efficiency and safety: climatic seasonality matters. *New Phytol*, 229 (3), 1440-1452. <https://doi.org/10.1111/nph.16940>.
- Liu, L., Li, J. W., Yue, F. X., Yan, X. W., Wang, F. Y., Bloszies, S., Wang, Y. (2018). Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and biochar amendment on maize growth, cadmium uptake and soil cadmium speciation in Cd-contaminated soil. *Chemosphere*, 194, 495–503. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.025>
- Liu, L., Li, W., Song, W., Guo, M. (2018). Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. *Science of The Total Environment*, 633, 206–219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.161>
- Liu, Y., Chen, G.-C., Zhang, J., Shi, X., Wang, R. (2011). Uptake of cadmium from hydroponic solutions by willows (*Salix* spp.) seedlings. *Afr J Biotechnol* 10 (72), 16209–16218. <https://doi.org/10.5897/AJB11>.
- Liza, S.J. Shethi, K.J. Rashid, P. (2020). Effects of cadmium on the anatomical structures of vegetative organs of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Dhaka Univ J Biol Sci*, 29, 45–52. <https://doi.org/10.3329/dujbs.v29i1.46530>

- Lobo, A., Torres-Ruiz, J. M., Burlett, R., Lemaire, C., Parise, C., Francioni, C., Truffaut, L., Tomášková, I., Hansen, J. K., Kjær, E. D., Kremer, A., Delzon, S. (2018). Assessing inter- and intraspecific variability of xylem vulnerability to embolism in oaks. *Forest Ecology and Management*, 424, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.031>
- Loepfe, L., Martinez-Vilalta, J., Piñol, J., Mencuccini, M. (2007). The relevance of xylem network structure for plant hydraulic efficiency and safety. *Journal of Theoretical Biology* 247, 788–803. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2007.03.036>
- Long, Y., Kong, D., Chen, Z., Zeng, H. (2013). Variation of the Linkage of Root Function with Root Branch Order. *PLoS ONE*, 8 (2), e57153. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057153>
- Losso, A., Bär, A., Dämon, B., Dullin, C., Ganthaler, A., Petruzzellis, F., Savi, T., Tromba, G., Nardini, A., Mayr, S., Beikircher, B. (2019). Insights from in vivo micro-CT analysis: Testing the hydraulic vulnerability segmentation in *Acer pseudoplatanus* and *Fagus sylvatica* seedlings. *New Phytologist*, 221, 1831–1842. <https://doi.org/10.1111/nph.15549>
- Loval, S. A., Cerrillo, T., Spavento, E., Caballé, G., Meier, A. M., Monteoliva, S. (2018). Wood structure, xylem functionality and growth of six *Salix* clones in two sites with different environmental stress in Argentina. *Rev Árvore* 42 (1), e420110. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000100010>
- Lübbe, T., Lamarque, L. J., Delzon, S., Torres Ruiz, J. M., Burlett, R., Leuschner, C., & Schuldt, B. (2022). High variation in hydraulic efficiency but not xylem safety between roots and branches in four temperate broad-leaved tree species. *Functional Ecology*, 36, 699–712. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13975>
- Łukaszewicz, J. P., Wesołowski, R. P., Cyganiuk, A. (2009). Enrichment of *Salix viminalis* Wood in Metal Ions by Phytoextraction. *Polish J of Environ Stud*, 18 (3), 507-511.
- Luković, J., Krstić, L., Halgašev, M., Merkulov, L., Nikolić, N. (2005). The influence of different concentrations of cadmium on structural characteristics of poplar clones root. In: Gruev, B., Nikolova, M., Donev, A., editors. *Proceedings Of The Balkan Scientific Conference Of Biology In Plovdiv*. Plovdiv: Plovdiv University Press; 2005. p. 468-74.
- Luković, J., Merkulov, L., Pajević, S., Zorić, L., Nikolić, N., Borišev, M., Karanović, D. (2012). Quantitative assessment of effects of cadmium on the histological structure of poplar and willow leaves. *Water Air Soil Pollut* 223(6), 2979–2993. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1081-0>
- Lunáčková, L., Masarovičová, E., Kráľová, K., Streško, V. (2003). Response of fast growing woody plants from family Salicaceae to cadmium treatment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 70 (3), 576-585. <https://doi.org/10.1007/s00128-003-0024-2>
- Lunačkova, L., Šottnikova, A., Masarovičova, E., Lux, A., Streško, V. (2003/4): Comparison of cadmium effect on willow and poplar in response to different cultivation conditions. *Biologia Plantarum* 47, 403-411.
- Lux, A., Luxova, M., Abe, J., Morita, S. (2004a). Root cortex: structural and functional variability and responses to environmental stress. *Root Research*, 13 (3), 117-131. <https://doi.org/10.3117/rootres.13.117>
- Lux, A., Martinká, M., Vaculík, M., White, P. J. (2011). Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. *J Exp Bot* 62 (1), 21–37. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq281>

- Lux, A., Šottníková, A., Opatrná, J., Greger, M. (2004b). Differences in structure of adventitious roots in *Salix* clones with contrasting characteristics of cadmium accumulation and sensitivity. *Physiologia Plantarum*, 120, 537–545. <https://doi.org/10.1111/j.0031-9317.2004.0275.x>
- Macek, T., Macková, M., Káš, J. (2000). Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. *Biotechnology Advances*, 18 (1), 23–34. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(99\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00034-8)
- Maestri, E., Marmioli, M., Visioli, G., Marmioli, N. (2010). Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.10.011>
- Maksimović, I., Kastori, R., Krstić, L., Luković, J. (2007). Steady presence of cadmium and nickel affects root anatomy, accumulation and distribution of essential ions in maize seedlings. *Biologia Plantarum* 51 (3), 589-592.
- Malá, J., Cvrčková, H., Máchová, P., Dostál, J., Šíma, P. (2010). Heavy metal accumulation by willow clones in short-time hydroponics. *J For Sci*, 56 (1), 28-34.
- Malik, J. A., Wani, A. A., Wani, K. A., Bhat, M. A. (2020). Role of White Willow (*Salix alba* L.) for Cleaning Up the Toxic Metal Pollution. In: Hakeem, K. R., Bhat, R. A., Qadri, H. (Eds.). *Bioremediation and Biotechnology, Sustainable Approaches to Pollution Degradation*, Springer Nature Switzerland AG 2020, pp.257-268. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0_12
- Mallhi, Z. I., Rizwan, M., Mansha, A., Ali, Q., Asim, S., Ali, S., Hussain, A., Alrokayan, S. H., Khan, H. A., Alam, P., Ahmad, P. (2019). Citric Acid Enhances Plant Growth, Photosynthesis, and Phytoextraction of Lead by Alleviating the Oxidative Stress in Castor Beans. *Plants*, 8, 525. <https://doi.org/10.3390/plants8110525>
- Markesteyn, L., Poorter, L., Paz, H., Sack, L., Bongers, F. (2011). Ecological differentiation in xylem cavitation resistance is associated with stem and leaf structural traits. *Plant, Cell & Environment*, 34 (1), 137–148. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02231.x>
- Marmioli, M., Pietrini, F., Maestri, E., Zacchini, M., Marmioli, N., Massacci, A. (2011). Growth, physiological and molecular traits in Salicaceae trees investigated for phytoremediation of heavy metals and organics. *Tree Physiol* 31 (12), 1319–1334. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpr090>
- Martínez-Vilalta, J., Piñol, J. (2002). Drought-induced mortality and hydraulic architecture in pine populations of the NE Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management*, 161(1-3), 247–256. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00495-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00495-9)
- Maxted, A.P., Black, C.R., West, H.M., Crout, N.M., McGrath, S.P., Young, S.D. (2007). Phytoextraction of cadmium and zinc by *Salix* from soil historically amended with sewage sludge. *Plant and Soil*, 290, 157-172. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9149-5>
- McCormack, M. L., Dickie, I. A., Eissenstat, D. M., Fahey, T. J., Fernandez, C. W., Guo, D., Helmisaari, H. S., Hobbie, E. A., Iversen, C. M., Jackson, R. B., Leppälampi-Kujansuu, J., Norby, R. J., Phillips, R. P., Pregitzer, K. S., Pritchard, S. G., Rewald, B., Zadworny, M. (2015). Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. *New Phytol.* 207, 505-518. <https://doi.org/10.1111/nph.13363>

- McElrone A. J., Pockman W. T., Martinez-Vilalta J., Jackson R. B. (2004). Variation in xylem structure and function in stems and roots of trees to 20m depth. *New Phytologist* 163, 507– 517. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01127.x>
- McLaughlin, M. J., Smolders, E., Degryse, F., Rietra R. (2011). Uptake of Metals from Soil into Vegetables, pp 325 - 368. In: Swartjes, F. A. (Ed.). *Dealing with Contaminated Sites*. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9757-6>
- McLaughlin, M. J., Tiller, K. G., Naidu, R. Stevens, D.P. (1996). Review: The behaviour and impact of contaminants in fertilizers. *Aust J Soil Res*, 34 (1), 1-54. <https://doi.org/10.1071/SR9960001>
- Meda, A. R., Scheuermann, E. B., Prechsl, U. E., Erenoglu, B., Schaaf, G., Hayen, H., Weber, G., von Wiren, N. (2007). Iron Acquisition by Phytosiderophores Contributes to Cadmium Tolerance. *Plant Physiology*, 143 (4), 1761-1773. <https://doi.org/10.1104/pp.106.094474>
- Meers, E., Vandecasteele, B., Ruttens, A., Vangronsveld, J., Tack, F. M. G. (2007). Potential of five willow species (*Salix* spp.) for phytoextraction of heavy metals. *Journal of Experimental Environmental Botany*, 120, 243-267. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.06.008>
- Meers, E., Vervaeke, P., Tack, F.M.G., Lust, N., Verloo, M., Lesage, E. (2003). Field trial experiment: phytoremediation with *Salix* sp. on a dredged sediment disposal site in Flanders. *Belgium Remediat J*, 13, 87–97. <https://doi.org/10.1002/rem.10077>
- Mencuccini, M., Hölttä, T., Petit, G., Magnani, F. (2007). Sanio’s laws revisited. Size-dependent changes in the xylem architecture of trees. *Ecology Letters*, 10 (11), 1084–1093. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01104.x>
- Mertens, J., Vervaeke, P., de Schrijver, A., Luysaert, S. (2004). Metal uptake by young trees from dredged brackish sediment: limitations and possibilities for phytoextraction and phytostabilisation. *The Science of the total environment*, 326 (1-3), 209-215. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2003.12.010>
- Mertens, J., Vervaeke, P., Meers, E., Tack, F. M. G. (2006). Seasonal changes of metals in willow (*Salix* sp.) stands for phytoremediation on dredged sediment. *Environmental Science & Technology*, 40, 1962–1968. <https://doi.org/10.1021/es051225i>
- Metcalf, C. R., Chalk, L. (1957). *Anatomy of the dicotyledons: Leaves, stem and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses*, vol I, II. Clarendon Press, Oxford.
- Metcalf, C. R., Chalk, L. (1965). *Anatomy of the dicotyledons*. Clarendon Press, Oxford.
- Metcalf, C. R., L. Chalk (1985). *Anatomy of the Dicotyledons: Volume II: Wood Structure and Conclusion of the General Introduction*. OUP Oxford.
- Metcalf, C.R., Chalk, L. (1957). *Anatomy Of The Dicotyledons Vol I*. Oxford At The Clarendon Press.
- Metcalf, G. (1939). Observations on the anatomy of the cricket-bat willow (*Salix caerulea* Sm.). *New Phytologist* 38, 150-158. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1939.tb07091.x>
- Meyerholt, B. (2013). Phytoextraction of Cadmium: The Advantages , Limitations , Cost And Potential Improvements Of This Remediation Technique. UF/IFAS University of Florida, pp. 1-22. https://soils.ifas.ufl.edu/media/soilsifasufledu/sws-main-site/pdf/technical-papers/Meyerholt_Rebekah_Immediate_Release.pdf

- Milner, M. J., Mitani-Ueno, N., Yamaji, N., Yokosho, K., Craft, E., Fei, Z., Ebbs, S., Clemencia Zambrano, M., Ma, J. F., Kochian, L. V. (2014). Root and shoot transcriptome analysis of two ecotypes of *Noccaea caerulescens* uncovers the role of *NcNramp1* in Cd hyperaccumulation. *The Plant Journal*, 78(3), 398–410. <https://doi.org/10.1111/tpj.12480>
- Minkina, T., Fedorenko, G., Nevidomskaya, D., Fedorenko, A., Chaplygin, V., Mandzhieva, S., (2018). Morphological and anatomical changes of *Phragmites australis* Cav. due to the uptake and accumulation of heavy metals from polluted soils. *Sci Total Environ*, 636, 392–401. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.306>
- Mishra, S., Dubey, R.S. (2006). Heavy metal uptake and detoxification mechanisms in plants. *Int J Agric Res*, 1 (2), 122–141. <https://doi.org/10.3923/ijar.2006.122.141>
- Mleczek, M., Gąsecka, M., Kaniuczak, J., Goliński, P., Szostek, M., Magdziak, Z., Rutkowski, P., Budzyńska, S. (2018). Dendroremediation: The Role of Trees in Phytoextraction of Trace Elements, pp. 267–295. In: Ansari, A., Gill, S., Gill, R., R. Lanza, G., Newman, L. (eds). *Phytoremediation*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99651-6_12
- Mleczek, M., Kaczmarek, Z., Magdziak, Z., Golinski, P. K. (2010). Hydroponic estimation of heavy metal accumulation by different genotypes of *Salix*. *J Environl Sci Health A* 45(5): 569–578. <https://doi.org/10.1080/10934521003595316>
- Mleczek, M., Łukaszewski, M., Kaczmarek, Z., Rissmann, I., Goliński, P. (2009). Efficiency of selected heavy metals accumulation by *Salix viminalis* roots. *Environmental and Experimental Botany*, 65, 48-53. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2008.03.003>
- Mola-Yudego, B., Díaz-Yáñez, O., Dimitriou, I. (2016). How much yield should we expect from fast-growing plantations for energy? Divergences between experiments and commercial willow plantations. *BioEnergy Res*, 8, pp. 1769-1777. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9630-1>
- Morrow, H. (2010). Cadmium and Cadmium Alloys. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, pp. 1-36. John Wiley & Sons, Inc. <http://doi.org/10.1002/0471238961.0301041303011818.a01.pub3>
- Mrak, T., Dovč, N., Gričar, J., Hoshika, Y., Paoletti, E., Kraigher, H. (2021). Poplar root anatomy after exposure to elevated O₃ in combination with nitrogen and phosphorus. *Trees*. 35:1233-45. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02111-0>
- Mrak, T., Gričar, J. (2016). *Atlas of woody plant roots. Morphology and anatomy with special emphasis on fine roots*. 1st ed. Ljubljana: The Silva Slovenica Publishing Centre. 106 p. <https://doi.org/10.20315/SFS.147>
- Mrnka, L., Kuchar, M., Cieslarova, Z., Matejka, P., Szakova, J., Tlustos, P., Vosatka, M. (2012). Effects of endo- and ectomycorrhizal fungi on physiological parameters and heavy metals accumulation of two species from the family Salicaceae. *Water Air Soil Pollut*. 223, 399-341. <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0868-8>
- Muthusarayanan, S., Sivarajasekar, N., Vivek, J. S., Vasudha Priyadharshini, S., Paramasivan, T., Dhakal, N., Naushad, M. (2020). Research Updates on Heavy Metal Phytoremediation: Enhancements, Efficient Post-harvesting Strategies and Economic Opportunities. In: Naushad, M., Lichtfouse, E. (eds). *Green Materials for Wastewater Treatment. Environmental Chemistry for a Sustainable World*, vol 38. Springer, Cham, pp 191–222. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17724-9_9

- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environ Chem Lett*, 8(3), 199–216. <http://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8>
- Nikolić, N. P., Borišev, M. K., Pajević, S. P., Arsenov, D. D., Župunski, M. D., Orlović, S. S., Pilipović A. R. (2015). Photosynthetic response and tolerance of three willow species to cadmium exposure in hydroponic culture. *Arch Biol Sci, Belgrade*, 67 (4), 1411-1420. <https://doi.org/10.2298/ABS150421120N>
- Nishijo, M., Nakagawa, H., Suwazono, Y., Nogawa, K., Kido, T. (2017). Causes of death in patients with Itai-itai disease suffering from severe chronic cadmium poisoning: a nested case–control analysis of a follow-up study in Japan. *BMJ Open*, 7(7), e015694. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-015694>
- Nylund, E. (2003). Cadmium uptake in willow (*Salix viminalis* L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in relation to plant growth and Cd concentration in soil solution. MSc thesis, pp 1-33. Swedish University of Agriculture Sciences. Department of Soil Sciences. <https://www.fao.org/forestry/10467-045f85db64fade6484e11cb3c49f96bb2.pdf>
- Ogasa, M., Miki, N. H., Murakami, Y., Yoshikawa, K. (2013). Recovery performance in xylem hydraulic conductivity is correlated with cavitation resistance for temperate deciduous tree species. *Tree Physiology*, 33 (4), 335–344. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt010>
- Ohlson, M., Staaland, H. (2001). Mineral diversity in wild plants: benefits and bane for moose. *Oikos*, 94(3), 442–454. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.940307.x>
- Okello, J. A., Schmitz, N., Beeckman, H., Dahdouh-Guebas, F., Kairo, J. G., Koedam, N., Robert, E. M. R. (2017). Hydraulic conductivity and xylem structure of partially buried mangrove tree species. *Plant and Soil*, 417 (1-2), 141–154. doi:10.1007/s11104-017-3247-4
- Oktaee, J., Lautenschläger, T., Günther, M., Neinhuis, C., Wagenführ, A., Lindner, M., Winkler, A. (2017). Characterization of Willow Bast Fibers (*Salix* spp.) from Short-Rotation Plantation as Potential Reinforcement for Polymer Composites. *BioResources*, 12 (2), 4270-4282.
- Oljača, R., Krstić, B., Pajević, S. (2006). Fiziologija biljaka. Šumarski fakultet Univerziteta u Banja Luci.
- Oljača, R., Rodzkin, A., Krstić, B., Govedar, Z. (2017). Fiziologija vrba. Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet, ISBN 978-99938-56-37-5.
- Olowu, R. A., Adewuyi, G. O., Onipede, O. J., Lawal, O. A., Sunday, O. M. (2015). Concentration of Heavy Metals in Root, Stem and Leaves of *Acalypha indica* and *Panicum maximum* Jacq from Three Major Dumpsites in Ibadan Metropolis, South West Nigeria. *American Journal of Chemistry*, 5 (1), 40-48.
- Olson, M. E., Anfodillo, T., Rosell, J. A., Petit, G., Crivellaro, A., Isnard, S., Le´on-G´omez, C., Alvarado-C´ardenas, L. O., Castorena, M. (2014). Universal hydraulics of the flowering plants: vessel diameter scales with stem length across angiosperm lineages, habits and climates. *Ecology Letters* 17, 988–997. <https://doi.org/10.1111/ele.12302>
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., & Tran, L.-S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*, 5. doi:10.3389/fpls.2014.00086

Owczarek, P., Opała, M., (2016). Dendrochronology and extreme pointer years in the tree-ring record (AD 1951–2011) of polar willow from southwestern Spitsbergen (Svalbard, Norway). *Geochronometria* 43 (1), 84–95. <https://doi.org/10.1515/geochr-2015-0035>

Özden Keleş S. (2021): Variation in morphological and wood cell traits in coppice stems of *Populus nigra* L. and *Salix alba* L. *J For Sci*, 67 (8), 396–407. <https://doi.org/10.17221/208/2020-JFS>

Page, K., Harbottle, M. J., Cleall, P. J., Hutchings, T. R. (2014). Heavy metal leaching and environmental risk from the use of compost-like output as an energy crop growth substrate. *Science of The Total Environment*, 487, 260–271. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.021>

Pajević, S., Borišev, M., Nikolić, N., Arsenov, D. D., Orlović, S., Župunski, M. (2016). Phytoextraction of Heavy Metals by Fast-Growing Trees: A Review. In: Ansari, A., Gill, S., Gill, R., Lanza, G., Newman, L., (eds). *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants*, Vol 3. Cham: Springer International Publishing, pp 29-64. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40148-5_2

Pajević, S., Borišev, M., Nikolić, N., Krstić, B., Pilipović, A., Orlović, S. (2009). Phytoremediation capacity of poplar (*Populus* spp.) and willow (*Salix* spp.) clones in relation to photosynthesis. *Arch. Biol. Sci., Belgrade*, 61 (2), 239-247. <https://doi.org/10.2298/ABS0902239P>

Pandey, A. K. Zorić, L. Sun, T. Karanović, D. Fang, P. Borišev, M. Wu, X. Luković, J. Xu, P. The Anatomical Basis of Heavy Metal Responses in Legumes and Their Impact on Plant–Rhizosphere Interactions (2022). *Plants*, 11, 2554. <https://doi.org/10.3390/plants11192554>

Panou-Filotheou, H., Bosabalidis, A. M. (2004). Root structural aspects associated with copper toxicity in oregano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*). *Plant Science*, 166 (6), 1497–1504. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.01.026>

Parmar, P., Mandakini, J., Bhaumik, D., & Subramanian, R. B. (2012). Nickel accumulation by *Colocasia esculentum* and its impact on plant growth and physiology. *African Journal of Agricultural Research*, 7, 3579–3587. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1914>

Parrotta, L., Guerriero, G., Sergeant, K., Cai, G., Hausman, J.-F. (2015). Target or barrier? The cell wall of early- and later-diverging plants vs cadmium toxicity: differences in the response mechanisms. *Front Plant Sci*, 6, 133. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00133>

Patton, L., Jones, M. B. (1989). Some relationships between leaf anatomy and photosynthetic characteristics of willows. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1989.tb02360.x>

Paz-Alberto, A. M., Sigua, G. C. (2013). Phytoremediation: A Green Technology to Remove Environmental Pollutants. *American Journal of Climate Change*, 2013, 2, 71-86 <https://doi.org/10.4236/ajcc.2013.21008>

Perdereau, A.C., Douglas, G.C., Hodkinson, T.R. Kelleher, C.T. (2013). High levels of variation in *Salix* lignocellulose genes revealed using poplar genomic resources. *Biotechnol. Biofuels*, 6, 114–129. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-114>

Pérez Chaca, M. V., Vigliocco, A., Reinoso, H., Molina, A. Abdala, G. Zirulnik, F., Pedranzani, H. (2014). Effects of cadmium stress on growth, anatomy and hormone

contents in *Glycine max* (L.) Merr. Acta Physiologiae Plantarum. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1656-z>

Perić, S. (2015). Karakteristike ksilema stabla i njihova potencijalna primena u odabiru genotipova topola (*Populus* L.). Master rad. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za biologiju i ekologiju.

Perttu, K. L., Kowalik, P. J. (1997). Salix vegetation filters for purification of waters and soils. Biomass and Bioenergy, 12 (1), 9–19. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(96\)00063-3](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(96)00063-3)

Pietrini, F., Zacchini, M., Iori, V., Pietrosanti, L., Ferretti, M. Massacci. A. (2010). Spatial distribution of cadmium in leaves and its impact on photosynthesis: examples of different strategies in willow and poplar clones. Journal of Plant Biology 12: 355-363.

Pietrini, F. (2008). Physiological and growth responses to cadmium exposure in hydroponic culture of Salicaceae to select clones with phytoremediation ability. Corso Di Dottorato Di Ricerca In Ecologia Forestale – XIX Ciclo. Università degli studi della Tuscia. Dipartimento di scienze dell'ambiente Forestale e delle sue risorse. <https://core.ac.uk/download/pdf/41156459.pdf>

Pilipović, A., Orlović, S., Trudić, B., Katanić, M., Vasić, V., Kebert, M. (2016). Testiranje klonova topola (*Populus* spp.) i vrba (*Salix* spp.) za fitoremedijaciju herbicida kroz ispitivanje uticaja na njihove fiziološke procese. Topola, No 197/198, str. 35-49. UDK: 582.681:581.165.1(497.11)

Pilipović, A., Zalesny, R. S., Rončević, S., Nikolić, N., Orlović, S., Beljin, J., Katanić, M. (2019). Growth, physiology, and phytoextraction potential of poplar and willow established in soils amended with heavy-metal contaminated, dredged river sediments. Journal of Environmental Management, 239, 352–365. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.072>

Pilipović, Zalesny Jr., R. S., Orlović, S., Drekić, M., Pekeč, S., Katanić, M., Poljaković-Pajnik, L. (2020). Growth and physiological responses of three poplar clones grown on soils artificially contaminated with heavy metals, diesel fuel, and herbicides, International Journal of Phytoremediation. 22 (4), 436-450. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1670616>

Pillon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. Annu Rev Plant Biol, 56, 15-39. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>.

Pinto, A. P., Mota, A. M., de Varennes, A., Pinto, F. C. (2004). Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. Sci Total Environ, 326, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.01.004>

Pourret, O., Hursthouse, A. (2019). It's Time to Replace the Term "Heavy Metals" with "Potentially Toxic Elements" When Reporting Environmental Research. Int J Environ Res Public Health, 16 (22), 4446. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224446>.

Prasad, M. N. V., Freitas, H. M. (2003). Metal hyperaccumulation in plants: biodiversity prospecting of phytoremediation technology. Electron J Biotechnol 6(3):286–290. <https://doi.org/10.2225/vol6-issue3-fulltext-6>

- Prasad, M. N. V., Freitas, H. (2005). Metal-tolerant plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology. In Trace Elements in the Environment, pp. 501-524. CRC Press.
- Pratt, R. B., Tobin, M. F., Jacobsen, A. L., Traugh, C. A., De Guzman, M. E., Hayes, C. C., Toschi, H. S., MacKinnon, E. D., Percolla, M. I., Clem, M. E., Smith, P. T. (2020). Starch storage capacity of sapwood is related to dehydration avoidance during drought. *American Journal of Botany*, 108 (1), 91–101. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1586>
- Pulford, I. D., Dickinson, N. M. (2005). Phytoremediation technologies using trees. In: Prasad, M. N. V, Sajwan, K. S., Naidu, R. (eds). Trace elements in the environment. Taylor and Francis, Boca Raton, pp 375–395.
- Pulford, I. D., Dickinson, N. M. (2006). Phytoremediation technologies using trees. In: Prasad, M. N. V., Sajwan, K. S., Naidu, R. (eds.). Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology and bioremediation. Boca Raton (FL): CRC Press. pp 383-403. <http://doi.org/10.1201/9781420032048.sec4>
- Pulford, I. D., Riddell-Black, D., Stewart, C. (2002). Heavy metal uptake by willow clones from sewage sludge-treated soil: the potential for phytoremediation. *Int J Phytoremediat*, 4 (1), 59 – 72. <https://doi.org/10.1080/15226510208500073>
- Pulford, I. D., Watson, C. (2003). Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees--a review. *Environment international*, 29 4, 529-540. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00152-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00152-6)
- Punshon, T., Dickinson, N. (1997). Acclimation of *Salix* to metal stress. *New Phytologist* 137, 303–314. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00802.x>
- Punshon, T., Lanzirrotti, A., Harper, S., Bertsch, P. M., Burger, J. (2005). Distribution and speciation of metals in annual rings of black willow. *J Environ Qual*. 34 (4), 1165-73. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.0461>
- Puschenreiter, M., Wittstock, F., Friesl-Hanl, W., Wenzel, W. W. (2013). Predictability of the Zn and Cd phytoextraction efficiency of a *Salix smithiana* clone by DGT and conventional bioavailability assays. *Plant and Soil*, 369(1-2), 531–541. <https://doi.org/10.1515/geochr-2015-003510.1007/s11104-013-1597-0>
- Rahman, Z., Singh, V.P. (2019). The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environ Monit Assess* 191 (7), 419. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7528-7>
- Rascio, N., Navari-Izzo F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Sci*, 180 (2), 169-181. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>
- Raskin, I., Smith, R. D., Salt, D. E. (1997). Phytoremediation of metals: Using plants to remove pollutants from the environment. *Curr Opin Biotechnol*, 8(2); 21–226. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(97\)80106-1](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(97)80106-1).
- Raza, A., Habib, M., Kakavand, S. N., Zahid, Z., Zahra, N., Sharif, R., Hasanuzzaman, M. (2020). Phytoremediation of cadmium: physiological, biochemical, and molecular mechanisms. *Biology*, 9 (7), 177. <https://doi.org/10.3390/biology9070177>

Record, S.J., Hess, R.W. (1943). *Timbers of the New World*. Yale University Press, New Haven.

Richter, H. G., Dallwitz, M. J. (2000 onwards). *Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval*. In English, French, German, and Spanish. Version: 4th May 2000. <http://biodiversity.uno.edu/delta/>.

Riddel-Black, D. (1994). Heavy metal uptake by fast growing willow species. In: Aronsson P, Perttu K. *Willow Vegetation Filters for Municipal Wastewaters and Sludges*. A biological purification system. Proc. of a study tour, conference and work shop in Sweden, 5–10 June 1994. Ultuna, Uppsala, Rapport 50, Avd. f. Skoglig intensivodling, SLU. Uppsala (Sweden): SLU Info/Repro. p. 145–151.

Riddell-Black, D. (1993). A review of the potential for the use of trees in the rehabilitation of contaminated land. WRc Report CO 3467. Water Research Centre, Medmenham.

Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Rizvi, H., Zia-Ur-Rehman, M., Hannan, F., Qayyum, M. F., Hafeez, F., & Ok, Y. S. (2016). Cadmium stress in rice: Toxic effects, tolerance mechanisms, and management: A critical review. *Environmental Science and Pollution Research International*, 23(18), 17859–17879. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6436-4>

Robinson, B. H., Mills, T. M., Petit, D., Fung, L. E., Green, S. R., Clothier, B. E. (2000). Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: Implications for phytoremediation. *Plant Soil* 227, 301–306. <https://doi.org/10.1023/A:1026515007319>

Rockwood, D. L., Naidu, C. V., Carter, D. R., Rahmani, M., Spriggs, T. A., Lin, C., Alker, G. R., Isebrands, J. G., Segrest, S. A. (2004). Short-rotation woody crops and phytoremediation: Opportunities for agroforestry? *Agroforestry Systems*, 61-62(1-3), 51–63. <https://doi.org/10.1023/b:agfo.0000028989.72186.e6>

Rodriguez-Dominguez, C. M., Carins Murphy, M. R., Lucani, C., Brodrigg, T. J. (2018). Mapping xylem failure in disparate organs of whole plants reveals extreme resistance in olive roots. *New Phytologist*, 218, 1025–1035. <https://doi.org/10.1111/nph.15079>

Rodriguez-Zaccaro, F., Henry, I., Groover, A. (2021). Genetic Regulation of Vessel Morphology in *Populus*. *Frontiers in Plant Science*, 12, 705596. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.705596>.

Rönnerberg-Wästljung, A. C., Glynn, C., Weih, M. (2005). QTL analyses of drought tolerance and growth for a *Salix dasyclados* × *Salix viminalis* hybrid in contrasting water regimes. *Theor Appl Genet*, 110, 537–549. <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1866-7>

Rönnerberg-Wästljung, A.-C. Dufour, L., Gao, J., Hansson, P.-A., Herrmann, A., Jebrane, M., Johansson, A.-C., Kalita, S., Molinder, R., Nordh, N.-E., Ohlsson, J., Passoth, V., Sandgren, M., Schnürer, A., Shi, A., Terziev, N., Daniel, G., Weih, M. (2022). Optimized utilization of *Salix* - Perspectives for the genetic improvement toward sustainable biofuel value chains. *GCB Bioenergy*, 14 (10), 1128-1144. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12991>.

Rosselli, W., Keller, C., Boschi, K. (2003). Phytoextraction capacity of trees growing on a metal contaminated soil. *Plant Soil*, 256, 265–272. <https://doi.org/10.1023/A:1026100707797>

Rucińska-Sobkowiak, R. (2016). Water relations in plants subjected to heavy metal stresses. *Acta Physiol Plant*, 38, 257. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2277-5>

- Rucińska-Sobkowiak, R. (2016). Water relations in plants subjected to heavy metal stresses. *Acta Physiol Plant* 38, 257. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2277-5>
- Russell, K. (2005). The Use and Effectiveness of Phytoremediation to Treat Persistent Organic Pollutants. U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation and Field Services Division. https://www.clu-in.org/download/studentpapers/phyto_to_treat_pops_russell.pdf
- Ruzin, E.S. (1999). *Plant Microtechnique and Microscopy*. Oxford University Press, London.
- Rypińska, I., Biegańska, M. (2014). Modification of *Salix americana* willow bark for removal of heavy metal ions from aqueous solutions. *Polish Journal of Chemical Technology*, 16, 41 - 44. <https://doi.org/10.2478/pjct-2014-0067>
- Rytter, R.-M. and Hansson, A.-C. 1996, Seasonal amount, growth and depth distribution of fine roots in an irrigated and fertilized *Salix viminalis* L. plantation, *Biomass Bioenergy* 11(2/3), 129–137.
- Saffari, V.R., Saffari, M. (2020). Effects of EDTA, Citric Acid, and Tartaric Acid Application on Growth, Phytoremediation Potential, and Antioxidant Response of *Calendula officinalis* L. in a Cadmium-Spiked Calcareous Soil. *Int. J. Phytoremed.*, 22, 1204–1214. <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1754758>
- Salt, D. E., Wagner, G. J. (1993). Cadmium transport across tonoplast of vesicles from oat roots: evidence for a $\text{Cd}^{2+}/\text{H}^{+}$ antiport activity. *J Biol Chem*, 268, 12297–12302. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)31388-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)31388-7)
- Sander, M.-L., Ericsson, T. (1998). Vertical distributions of plant nutrients and heavy metals in *Salix viminalis* stems and their implications for sampling. *Biomass and Bioenergy*, 14(1), 57–66. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10004-6](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10004-6)
- Sanità di Toppi, L. S., Gabbrielli, R. (1999). Response to cadmium in higher plants. *Environ Exp Bot* 41 (2), 105–130. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(98\)00058-6](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(98)00058-6)
- Schat, H., Llugany, M., Bernhard, R. (2000). Metal-specific patterns of tolerance, uptake and transport of heavy metals in hyperaccumulating and nonhyperaccumulating metallophytes. In: Terry, N., Banuelos, G., (eds). *Phytoremediation of contaminated soil and water*. CRC Press LLC, 171–188. <https://doi.org/10.1201/9780367803148-9>
- Schoch, W., Heller, I., Schweingruber, F. H., Kienast, F. (2004). Wood anatomy of central European Species. Online version: www.woodanatomy.ch
- Schoenmuth, B. W., Pestemer, W. (2004). Dendroremediation of trinitrotoluene (TNT) part 1: Literature overview and research concept. *Environmental Science and Pollution Research*, 11(4), 273–278. <https://doi.org/10.1007/bf02979637>
- Scholz, A., Klepsch, M., Karimi, Z., Jansen, S. (2013). How to quantify conduits in wood? *Front Plant Sci*, 4, 56. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00056>
- Schreiber, S. G., Hacke, U. G., Hamann, A. (2015). Variation of xylem vessel diameters across a climate gradient: insight from a reciprocal transplant experiment with a widespread boreal tree. *Functional Ecology*, 29(11), 1392–1401. doi:10.1111/1365-2435.12455
- Schuldt, B., Leuschner, C., Brock, N., Horna, V. (2013). Changes in wood density, wood anatomy and hydraulic properties of the xylem along the root-to-shoot flow path in tropical rainforest trees. *Tree Physiol*, 33, 161-74. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps122>

- Schumann, K., Leuschner, C., Schuldt, B. (2019). Xylem hydraulic safety and efficiency in relation to leaf and wood traits in three temperate *Acer* species differing in habitat preferences. *Trees*. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01874-x>
- Schume, H., Grabner, M., Eckmüller, O. (2004). The influence of an altered groundwater regime on vessel properties of hybrid poplar. *Trees*, 18, 184-194. <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0294-7>
- Schwitzguébel, J.-P., Comino, E., Plata, N., Khalvati, M. (2011). Is phytoremediation a sustainable and reliable approach to clean-up contaminated water and soil in Alpine areas? *Environmental Science and Pollution Research*, 18(6), 842–856. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0498-0>
- Scullion, J. (2006). Remediating polluted soils. *Naturwissenschaften* 93, pp 51–65 <https://doi.org/10.1007/s00114-005-0079-5>
- Sebastiani, L., Francini, A., Romeo, S., Ariani, A., Minnocci, A. (2014). Heavy Metals Stress on Poplar: Molecular and Anatomical Modifications. In: Gaur, R. K., Sharma P. (eds.), *Approaches to Plant Stress and Their Management*, pp 267–279. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1620-9_15
- Sebastiani, L., Scebba, F., Tognetti, R. (2004). Heavy metal accumulation and growth responses in poplar clones Eridano (*Populus deltoides* × *maximowiczii*) and I-214 (*P.* × *euramericana*) exposed to industrial waste. *Environmental and Experimental Botany*, 52 (1), 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.01.003>
- Sennerby-Forsse, L. (1988). Wood structure and quality in natural stands of *Salix caprea* L. and *Salix pentandra* L. *Studia Forestalia Suecia*, 182. 17 pp. ISBN 91-576-371 1-3
- Seregin, I. V., Ivanov, V. B. (2001). Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russ J Plant Physiol* 48 (4), 523–544. <https://doi.org/10.1023/A:1016719901147>
- Seregin, I. V., Kozhevnikova, A. D. (2008). Roles of root and shoot tissues in transport and accumulation of cadmium, lead, nickel, and strontium. *Russ J Plant Physiol*, 55 (1), 1–22. <https://doi.org/10.1134/S1021443708010019>
- Shah, K., Nahakpam, S., Chaturvedi, V., Singh, P. (2019). Cadmium-induced anatomical abnormalities in plants. In: Hasanuzzaman, M., Prasad, M. N. V., Fujita, M. (eds): *Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants*, Amsterdam: Elsevier, pp 111–139. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814864-8.00005-x>
- Shahpoori, Z., Bayramzadeh, V., Safdari, V. R., Zarinkafsh, M. K., Attarod, P., Jirroodnejad, R. (2012). Wood anatomical changes due to uptake of cadmium and lead from contaminated soils in *Acer velutinum* seedlings. *Journal of Forestry Research*, 23 (3), 473–479. <https://doi.org/10.1007/s11676-012-0287-8>
- Sharma, P., Pandey, S. (2014). Status of Phytoremediation in World Scenario. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, 2 (4), 178-191. Available online at <http://pubs.sciepub.com/ijebb/2/4/5>. <https://doi.org/10.12691/ijebb-2-4-5>
- Sheoran, V., Sheoran, A., Poonia, P., (2011). Role of hyperaccumulators in phytoextraction of metals from contaminated mining sites: a review. *Crit Rev Environ Sci Technol*, 41 (2), 168–214. <https://doi.org/10.1080/10643380902718418>

- Shinta, Y. C., Zaman, B., Sumiyati, S. (2021). Citric Acid and EDTA as chelating agents in phytoremediation of heavy metal in polluted soil: a review. 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 896 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/896/1/012023>
- Shmaefsky, B.R. (2020). Principles of Phytoremediation. In: Shmaefsky, B. (eds) Phytoremediation. Concepts and Strategies in Plant Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_1
- Sinhal, V., Srivastava, A., Singh, V. (2010). EDTA and citric acid mediated phytoextraction of Zn, Cu, Pb and Cd through marigold (*Tagetes erecta*). Journal of environmental biology / Academy of Environmental Biology, India. 31. 255-9.
- Sizonenko, O. Y., Chavchavadze, E. S. (2002). Wood anatomy in species of the genus *Salix* (Salicaceae) from northern regions of Russia. Botanicheskii Zhurnal 87, 67-77.
- Skelton, R. P., Dawson, T. E., Thompson, S. E., Shen, Y., Weitz, A. P., Ackerly, D. (2018). Low vulnerability to xylem embolism in leaves and stems of North American Oaks. Plant Physiology, 177 (3), 1066–1077. <https://doi.org/10.1104/pp.18.00103>
- Ślupianek, A., Dolzblasz, A., Sokołowska, K. (2021). Xylem Parenchyma—Role and Relevance in Wood Functioning in Trees. Plants, 10. <https://doi.org/10.3390/plants10061247>
- Ślupianek, A., Wojtuń, B. Myśkow, E. (2019). Origin, activity and environmental acclimation of stem secondary tissues of the polar willow (*Salix polaris*) in high-Arctic Spitsbergen. Polar Biol 42, 759–770. <https://doi.org/10.1007/s00300-019-02469-5>
- Smith, M. S., Fridley, J. D., Yin, J., Bauerle, T. L. (2013) Contrasting xylem vessel constraints on hydraulic conductivity between native and non-native woody understory species. Frontiers in Plant Science, 4, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00486>
- Smolders, E., Mertens, J. (2013). Cadmium. In: Alloway, B. (eds). Heavy Metals in Soils. Environmental Pollution, EPOL vol 22, pp 283–311. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_10
- Song, J. F., Markewitz, D., Wu, S., Sang, Y., Duan, C., Cui, X.Y. (2018). Exogenous Oxalic Acid and Citric Acid Improve Lead (Pb) Tolerance of *Larix olgensis* A. Henry Seedlings. Forests, 9 (9), 510. <https://doi.org/10.3390/f9090510>
- Song, Y., Jin, L., Wang, X. (2016). Cadmium absorption and transportation pathways in plants. International Journal of Phytoremediation, 19 (2), 133–141. <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1207598>
- Song, Y., Kirkwood, N., Maksimović, Č., Zhen, X., O'Connor, D., Jin, Y., Hou, D. (2019). Nature Based Solutions for Contaminated Land Remediation and Brownfield Redevelopment in Cities: A Review. Science of the Total Environment, 663, 568-579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.347>
- Šottníková, A., Lunáčková, L., Masarovičová, E., Lux, A., Streško, V. (2003). Changes in the Rooting and Growth of Willows and Poplars Induced by Cadmium. Biologia Plantarum 46, 129–131. <https://doi.org/10.1023/A:1022395118998>
- Souza, V. L., Almeida, A. A. F., Lima, S. G., Cascardo, J. C. D. M., Silva, D. D. C., Mangabeira, P. A., Gomes, F. P. (2011). Morphophysiological responses and programmed cell death induced by cadmium in *Genipa americana* L. (Rubiaceae). Biometals 24, 59–71. <https://doi.org/10.1007/s10534-010-9374-5>

Sperry, J. S., Hacke, U. G. Pittermann J. (2006). Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels. *American Journal of Botany* 93, 1490–1500. <https://doi.org/10.3732/ajb.93.10.1490>

Sperry, J. S., Tyree, M. T. (1990). Water-stress-induced xylem embolism in three species of conifers. *Plant, Cell and Environment* 13, 427–436. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb01319.x>

Sperry, J., Saliendra, N. Z. (1994). Intra- and inter-plant variation in xylem cavitation in *Betula occidentalis*. *Plant Cell and Environment* 17, 1233-1241.

Sresty, T. V. S., Madhava Rao, K. V. (1999). Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cells of pigeonpea. *Environmental and Experimental Botany*, 41 (1), 3–13. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(98\)00034-3](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(98)00034-3)

Sridhar, B. B. M., Diehl, S. V., Han, F. X., Monts, D. L., Su, Y. (2005). Anatomical changes due to uptake and accumulation of Zn and Cd in Indian mustard (*Brassica juncea*). *Environmental and Experimental Botany*, 54(2), 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.06.011>

Sterckeman, T., Thomine S. (2020). Mechanisms of Cadmium Accumulation in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 39, 322 - 359. <https://doi.org/10.1080/07352689.2020.1792179>

Strock, C. F., Morrow de la Riva, L., Lynch, J. P. (2018). Reduction in Root Secondary Growth as a Strategy for Phosphorus Acquisition. *Plant Physiol*, 176 (1), 691-703. <https://doi.org/10.1104/pp.17.01583>

Subrahmanyam, G.V., Prasad, M.N.V.A. (2011). State-of-the-art Report on Bioremediation, Its Applications to Contaminated Sites in India, pp 1-90. Ministry of Environment and Forests, Government of India, Paryavaran Bhawan, New Delhi. <https://soilhealth.ucdavis.edu/application/files/2015/4207/9078/BioremediationBook.pdf>

Sugier, D., Sugier, P. (2010). Characteristics of abiotic conditions and heavy metals concentration in bark of the pharmaceutical willow *Salix purpurea* L. in the Łęczna-Włodawa Lakeland. *Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przyr. – OL PAN*, 7, 400–409.

Suman, J., Uhlik, O., Viktorova, J., Macek, T. (2018). Phytoextraction of heavy metals: a promising tool for clean-up of polluted environment? *Front Plant Sci* 9: 1476. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01476>

Sun, J., Cui, J., Luo, C., Gao, L., Chen, Y., Shen, Z. (2013). Contribution of cell walls, nonprotein thiols, and organic acids to cadmium resistance in two cabbage varieties. *Arch Environ Contam Toxicol*, 64, 243–252. <https://doi.org/10.1007/s00244-012-9824-x>

Sylvain, B., Mikael, M. - H., Florie, M., Emmanuel, J., Marilyne, S., Sylvain, B., Domenico, M. (2016). Phytostabilization of As, Sb and Pb by two willow species (*S. viminalis* and *S. purpurea*) on former mine technosols. *Catena* 136: 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.07.008>

Taiz, L., Zeiger, E. (2002). *Plant physiology*, third edition. Sinauer Associates, Sunderland, MA. 690 pps.

Takahashi, R., Bashir, K., Ishimaru, Y., Nishizawa, N. K., Nakanishi, H. (2012). The role of heavy-metal ATPases, HMAs, in zinc and cadmium transport in rice. *Plant Signal Behav*, 7 (12), 1605-1607. <https://doi.org/10.4161/psb.22454>

- Takele, G., Sharma, K. R., Kumar, R. (2019). Studies on anatomical properties of *Salix hybrids* wood. *International Journal of Chemical Studies* 2019, 7(1), 472-476.
- Takele, G., Sharma, K. R., Kumar, R. Studies on anatomical properties of *Salix hybrids* wood. *Int J Chem Stud*, 7 (1), 472-476.
- Tanentzap, F.M., Ryser, P. (2015). Decreased resistance to embolism in red maple (*Acer rubrum* L.) saplings within a heavy metal contaminated region. *Environmental and Experimental Botany*, 109, 40-44. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2014.07.019>
- Tangahu, B. V., Sheikh Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., Mukhlisin, M. (2011) A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *Int J Chem Eng* 939161:1–31. <https://doi.org/10.1155/2011/939161>
- Thakur, M., Praveen, S., Divte, P.R., Mitra, R., Kumar, M., Gupta, C.K., Kalidindi, U., Bansal, R., Roy, S., Anand, A., Singh, B. (2022). Metal Tolerance in Plants: Molecular and Physicochemical Interface Determines the “Not so Heavy Effect” of Heavy Metals. *Chemosphere* 287 (Pt 1): 131957. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131957>
- Thustoš, P., Száková, J., Vysloužilová, M., Pavlíková, D., Weger, J., Javorská, H. (2007). Variation in the uptake of arsenic, cadmium, lead, and zinc by different species of willows *Salix* spp. grown in contaminated soils. *Cent Eur J Biol*, 2(2), 254–275. <https://doi.org/10.2478/s11535-007-0012-3>
- Tobin, B., Čermák, J., Chiatante, D., Danjon, F., Di Iorio, A., Dupuy, L., Eshel, A., Jourdan, C., Kalliokoski, T., Laiho, R., Nadezhdina N., Nicoll, B., Pagès, L., Silva, J., Spanos, I. (2007) Towards developmental modelling of tree root systems. *Plant Biosyst*, 141 (3), 481–501. <https://doi.org/10.1080/11263500701626283>
- Tombesi, S., Johnson, R. S., Day, K. R., DeJong, T. M. (2010). Relationships between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size-controlling capacity of peach rootstocks. *Annals of Botany*, 105 (2), 327–331. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp281>
- Tózsér, D., Magura, T., Simon, E. (2017). Heavy metal uptake by plant parts of willow species: a meta-analysis. *J Hazard Mater* 336, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.03.068>
- Touatia, M., Bottegac, S., Ruffini Castiglione, M., Sorcec, C., Béjaouib, Z., Spanò, C. (2019). Modulation of the defence responses against Cd in willow species through a multifaceted analysis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 142, 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.07.005>
- Tózsér, D., Harangi, S., Baranyai, E., Lakatos, B., Fülöp, Z., Tóthmérész, B., Simon, E. (2018). Phytoextraction with *Salix viminalis* in a moderately to strongly contaminated area. *Environ Sci Pollut Res* 25, 3275–3290 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0699-2>
- Tran, T. A., Popova, L. P. (2013). Functions and toxicity of cadmium in plants: recent advances and future prospects. *Turk J Bot* 37, 1-13. <http://doi.org/10.3906/bot-1112-16>
- Trifilò, P., Kiorapostolou, N., Petruzzellis, F., Vitti, S., Petit, G., Lo Gullo, M.A., Nardini, A.G., Casolo, V. (2019). Hydraulic recovery from xylem embolism in excised branches of twelve woody species: Relationships with parenchyma cells and non-structural carbohydrates. *Plant physiology and biochemistry*, PPB, 139, 513-520. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.013>

- Tsuda, M., Tyree, M. T. (1997). Whole-plant hydraulic resistance and vulnerability segmentation in *Acer saccharinum*, *Tree Physiology*, 17 (6), 351–357, <https://doi.org/10.1093/treephys/17.6.351>
- Turgut, C., Katie Pepe, M., Cutright, T. J. (2004). The effect of EDTA and citric acid on phytoremediation of Cd, Cr, and Ni from soil using *Helianthus annuus*. *Environ Pollut.* 131 (1), 147-54. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.01.017>
- Tyree, M. T. (2003). Hydraulic limits on tree performance: transpiration, carbon gain and growth of trees. *Trees* 17, 95–100. <https://doi.org/10.1007/s00468-002-0227-x>
- Tyree, M. T., Davis, S. D., Cochard, H. (1994). Biophysical perspectives of xylem evolution: is there a tradeoff of hydraulic efficiency for vulnerability to dysfunction?. *IAWA Journal*, 15 (4), 335–360. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001369>
- Tyree, M. T., Ewers, F. W. (1991). The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytol* 119 (3), 345–360. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1991.tb00035.x>
- Tyree, M. T., Yang, S. (1990). Water-storage capacity of *Thuja*, *Tsuga*, and *Acer* stems measured by dehydration isotherms: Contributions of capillary water and cavitation. *Planta*, 182, 420–426. <https://doi.org/10.1007/BF02411394>
- Tyree, M., Zimmermann, M. (2002). *Xylem Structure and The Ascent of Sap*. 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer. 284 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04931-0>
- Tyree, M.T. (2003). Hydraulic properties of roots. In: de Kroon, H., Visser, E. J. W. (eds). *Root Ecology*. Ecological Studies. Berlin: Springer-Verlag. 168: 125-150.
- Unterbrunner, R., Puschenreiter, M., Sommer, P., Wieshammer, G., Tlustoš, P., Zupan, M., Wenzel, W.W. (2007). Heavy metal accumulation in trees growing on contaminated sites in central Europe. *Environ Pollut*, 148 (1), 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.10.035>
- Usman, A. R. A, Almaroai, Y. A., Ahmad, M., Vithanage, M., Ok, Y. S. (2013). Toxicity of synthetic chelators and metal availability in poultry manure amended Cd, Pb and As contaminated agricultural soil. *J Hazard Mater* 262,1022–1030. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.04.032>
- Vaculík, M., Konlechner, C., Langer, I., Adlassnig, W., Puschenreiter, M., Lux, A., Hauser, M.-T. (2012). Root anatomy and element distribution vary between two *Salix caprea* isolates with different Cd accumulation capacities. *Environ Pollut* 163:117–126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.031>
- Valavanidis, A., Vlachogianni, T. (2010). *Metal Pollution in Ecosystems. Ecotoxicology Studies and Risk Assessment in the Marine Environment*. Science advances on Environment, Toxicology & Ecotoxicology issues. www.chem-tox-ecotox
- Vandecasteele, B., Meers, E., Vervaeke, P., De Vos, B., Quataert, P., Tack, F. M. G. (2005). Growth and trace metal accumulation of two *Salix* clones on sediment-derived soils with increasing contamination levels. *Chemosphere* 58 (8), 995-1002. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.07.015>
- Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A., Thewys, T., Vassilev, A., Meers, E., Nehnevajova, E. (2009). Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environ Sci Pollut Res* 16(7):765–794. <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0213-6>

- Varga, C., Marian, M., Mihaly-Cozmuta, L., Mihaly-Cozmuta, A., Mihalescu, L. (2009). Evaluation of the phytoremediation potential of the *Salix caprea* in tailing ponds. *Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Biologie*. Tom XVI (1), pp 141-149.
- Vassilev, A., Lidon, F., Scotti, P., Da Graca, M., Yordanov, I., (2004). Cadmium-induced changes in chloroplast lipids and photosystem activities in barley plants. *Biol Plant*, 48, 153–156. <https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000024295.27419.89>
- Vassilev, A., Schwitzguebél, J.-P., Thewys, T., van der Lelie, D., Vangronsveld, J. (2004). The Use of Plants for Remediation of Metal-Contaminated Soils. *The Scientific World JOURNAL*, 4, 9–34. doi:10.1100/tsw.2004.2
- Vatehová-Vivodová, Z., Kollárová, K., Malovíková, A., Lišková, D. (2018). Maize shoot cell walls under cadmium stress. *Environ Sci Pollut Res* 25, 22318–22322 <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2602-1>
- Vega, A., Delgado, N., Handford, M. (2022). Increasing Heavy Metal Tolerance by the Exogenous Application of Organic Acids. *Int. J. Mol. Sci.*, 23, 5438. <https://doi.org/10.3390/ijms23105438>
- Vercambre, G., Doussan, C., Pages, L., Habib, R., Pierret, A. (2002). Influence of xylem development on axial hydraulic conductance within *Prunus* root systems. *Trees*, 16(7), 479–487. <https://doi.org/10.1007/s00468-002-0190-6>
- Vert, G., Barberon, M., Zelazny, E., Séguéla, M., Briat, J.-F., Curie, C. (2009). *Arabidopsis* IRT2 cooperates with the high-affinity iron uptake system to maintain iron homeostasis in root epidermal cells. *Planta* 229, 1171–1179. <https://doi.org/10.1007/s00425-009-0904-8>
- Vervaeke, P., Luysaert, S., Mertens, J., Meers, E., Tack, F. M. G., Lust, N. (2003). Phytoremediation prospects of willow stands on contaminated sediment: a field trial. *Environmental Pollution*, 126 (2), 275–282. [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(03\)00189-1](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(03)00189-1)
- Villar-Salvador, P., Castro-Diez, P., Perez-Rontome, C., Montserrat-Marti, G. (1997). Stem xylem features in three *Quercus* (Fagaceae) species along a climatic gradient in NE Spain. *Trees-Structure and Function*, 12, 90–96.
- Vilotić, D. M. (2000). Uperedna anatomija drveta. pp. 92-93. Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu. Beograd.
- Vollenweider, P., Cosio, C., Gunthardt-Goerg, M. S., Keller, C. (2006). Localization and effects of cadmium in leaves of a cadmium-tolerant willow (*Salix viminalis* L.) Part II Microlocalization and cellular effects of cadmium. *Environ Exp Bot* 58 (1-3), 25–40. <http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.06.012>
- Vollenweider, P., Cosio, C., Gunthardt-Goerg, M. S., Keller, C. (2006). Localization and effects of cadmium in leaves of a cadmium-tolerant willow (*Salix viminalis* L.) Part II Microlocalization and cellular effects of cadmium. *Environmental and Experimental Botany*, 58, 25–40.
- Vysloužilová, M., Tlustoš, P., Száková, J. (2003b). Cadmium and zinc phytoextraction potential of seven clones of *Salix* spp. planted on heavy metal contaminated soils. *Plant Soil Environ.*, 49 (12), 542-547. <https://doi.org/10.17221/4191-PSE>

- Vysloužilová, M., Tlustoš, P., Száková, J., Pavliková, D. (2003a). As, Cd, Pb and Zn uptake by *Salix* spp. clones grown in soils enriched by high loads of these elements. *Plant Soil Environ.*, 49 (5), 191-196. <https://doi.org/10.17221/4112-PSE>
- Waliszewska, B., Wiaderek, I., Waliszewska, H., Sieradzka, A. (2015). The content of selected heavy metals in the willow and in the soil from the Hel Peninsula. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Forestry and Wood Technology*, 91, 188-193.
- Wang, J.-J., Tharayil, N., Chow, A. T., Suseela, V., Zeng, H. (2015). Phenolic profile within the fine-root branching orders of an evergreen species highlights a disconnect in root tissue quality predicted by elemental- and molecular-level carbon composition. *New Phytologist*, 206 (4), 1261–1273. <https://doi.org/10.1111/nph.13385>
- Wang, J.-W., Li, Y., Zhang, Y.-X., Chai, T.-Y. (2013). Molecular cloning and characterization of a *Brassica juncea* yellow stripe-like gene, BjYSL7, whose overexpression increases heavy metal tolerance of tobacco. *Plant Cell Rep*, 32(5), 651–662. <https://doi.org/10.1007/s00299-013-1398-1>
- Wang, W., Wu, Y., Akbar, S., Jia, X., He, Z., Tian, X. (2015). Effect of heavy metals combined stress on growth and metals accumulation of three *Salix* species with different cutting position. *International Journal of Phytoremediation*, 18(8), 761–767. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1131237>
- Wang, Y., Dong, X., Wang, H., Wang, Z., Gu, J. (2016). Root tip morphology, anatomy, chemistry and potential hydraulic conductivity vary with soil depth in three temperate hardwood species, *Tree Physiology*, 36 (1), 99–108, <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv094>
- Wani, B. A., Khan, A., Bodha R. H. (2011). *Salix*: A viable option for phytoremediation. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5 (8), pp. 567-571. <https://doi.org/10.5897/AJEST10.161>
- Wani, B. A., Khan, A., Tantry, M. (2014). Wood Anatomical Features of Stems of *Salix alba* L. from Temperate Climate of Kashmir Himalaya. *Journal of Research & Development*, Vol. 14, 19-23.
- Wasewar, K. L., Singh, S., Kansal, S. K. (2020). Process intensification of treatment of inorganic water pollutants. In: Devi, P., Singh, P., Kumar Kansal, S. (eds.): *Inorganic Pollutants in Water*, 245–271. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00013-5>
- Wason, J. W., Anstreicher, K. S., Stephansky, N., Huggett, B. A., Brodersen, C. R. (2018). Hydraulic safety margins and air-seeding thresholds in roots, trunks, branches and petioles of four northern hardwood trees. *New Phytologist*, 219, 77–88. <https://doi.org/10.1111/nph.15135>
- Watson, C., Pulford, I.D., Riddell-Black, D. (1999). Heavy Metal Toxicity Responses of Two Willow (*Salix*) Varieties Grown Hydroponically: Development of a Tolerance Screening Test. *Environmental Geochemistry and Health*, 21, 359-364. <https://doi.org/10.1023/A%3A1006796720300>
- Welch, R. M., Norvell, W. A. (1999). Mechanisms of Cadmium Uptake, Translocation and Deposition in Plants. In: McLaughlin, M. J., Singh, B. R. (eds). *Cadmium in Soils and Plants. Developments in Plant and Soil Sciences*, vol 85, pp 125–150. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4473-5_6

- Weng, B., Xie, X., Weiss, D. J., Liu, J., Lu, H., Yan, C. (2012). *Kandelia obovata* (S., L.) Yong tolerance mechanisms to cadmium: subcellular distribution, chemical forms and thiol pools. *Mar Pollut Bull*, 64 (11), 2453–2460. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.07.047>
- Wenhai Li, Caixia Zheng & Shuhang He (2019) The Analysis of Xylem Vessel Structure of *Populus euphratica* Oliv. Fresh Branch by HRCT, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50:1, 10-19, DOI: 10.1080/00103624.2018.1546867
- Wieshammer, G., Unterbrunner, R., Garcia, T. B., Zivkovic, M. F., Puschenreiter, M., Wenzel, W. W. (2007). Phytoextraction of Cd and Zn from agricultural soils by *Salix* ssp. and intercropping of *Salix caprea* and *Arabidopsis halleri*. *Plant and Soil* 298, 255–264. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9363-9>
- Wikberg, J., Ögren, E. (2004). Interrelationships between water use and growth traits in biomass-producing willows. *Trees*, 18 (1), 70–76. <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0282-y>
- Wilkinson, H. P. (2007). Leaf teeth in certain Salicaceae and “Flacourtiaceae.” *Botanical Journal of the Linnean Society*, 155 (2), 241–256. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2007.00695.x>
- Wislocka, W., Krawczyk, J., Klink, A., Morrison, L. (2006). Bioaccumulation of heavy metals by selected plant species from uranium mining dumps in the Sudety Mts., Poland. *Polish J Environ Stud*, 15 (5), 811-818.
- Wong, M., Lueng, C., (1989). Landfill leachate as irrigation water for tree and vegetable crops. *Waste Management and Research* 7 (1), 311 – 324. <https://doi.org/10.1177/0734242X8900700146>
- World Health Organization (2019). Exposure To Cadmium: A Major Public Health Concern. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-EPE-19-4-3>
- World Health Organization WHO (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4 ed. World Health Organization, Geneva. ISBN: 978-92-4-154995-0. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations & Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Meeting (74th : 2011 : Rome, Italy). (2011). Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-fourth [74th] report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44788>
- Wu, H., Wang, J., Ou, Y., Li, B., Jiang, W., Liu, D., Zou, J. (2017). Characterisation of early responses to cadmium in roots of *Salix matsudana* Koidz. *Toxicol Environ Chem*, 99 (5–6), 913–925. <https://doi.org/10.1080/02772248.2017.1284850>
- Wu, M., Zhang, Y., Oya, T., Marcati, C. R., Pereira, L., Jansen, S. (2020). Root xylem in three woody angiosperm species is not more vulnerable to embolism than stem xylem. *Plant Soil* 450, 479–495. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04525-0>
- Wuana, R. A., Okieimen F. E. (2011). Heavy metals in contaminated soils a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 42, 111-122. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>

- Xia, M., Guo, D., Pregitzer, K. S. (2010). Ephemeral root modules in *Fraxinus mandshurica*. *New Phytologist*, 188 (4), 1065–1074. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03423.x>
- Xu, F., Sun, R.-C., Lu, Q., Jones, G. L. (2006). Comparative study of anatomy and lignin distribution in normal and tension wood of *Salix gordejecii*. *Wood Science and Technology*, 40 (5), 358–370. <https://doi.org/10.1007/s00226-005-0049-2>
- Xu, H., Cooke, J. E. K., Kemppainen, M., Pardo, A. G., Zwiazek, J. J. (2016). Hydraulic conductivity and aquaporin transcription in roots of trembling aspen (*Populus tremuloides*) seedlings colonized by *Laccaria bicolor*. *Mycorrhiza* 26 (5), 441–451. <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0681-8>
- Xu, X., Yang, B., Qin, G. et al. (2019). Growth, accumulation, and antioxidative responses of two *Salix* genotypes exposed to cadmium and lead in hydroponic culture. *Environ Sci Pollut Res* 26, 19770–19784. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05331-7>
- Yadav, M., Singh, G., and Jadeja, R. N. (2021). Phytoremediation for heavy metal removal. *Pollut. Water Manage.* 128–150. <https://doi.org/10.1002/9781119693635.ch6>
- Yadav, S. K. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76(2), 167–179. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.10.007>
- Yamaguchi, N., Mori, S., Baba, K., Kaburagi-Yada, S., Arao, T., Kitajima, N., Hokura, A., Terada, Y. (2011). Cadmium distribution in the root tissues of solanaceous plants with contrasting root-to-shoot Cd translocation efficiencies. *Environmental and Experimental Botany*, 71(2), 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.12.002>
- Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Mohd Yusof, M. L., Ghosh, S., Chen, Z. (2020). Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359>
- Yang, G., Fu, S., Huang, J., Li, L., Long, Y., Wei, Q., Wang, Z., Chen, Z., Xia, J. (2021). The tonoplast-localized transporter OsABCC9 is involved in cadmium tolerance and accumulation in rice. *Plant Science*, 307, 110894. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.110894>
- Yang, W., Liu, D., Wang, Y., Hussain, B., Zhao, F., Ding, Z., Yang, X., Zhu, Z., Dawood, M. (2021). Variations in phytoremediation potential and phytoavailability of heavy metals in different *Salix* genotypes subjected to seasonal flooding. *Journal of Environmental Management*, 299, 113632. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113632>
- Yang, W., Zhao, F., Zhang, X., Ding, Z., Wang, Y., Zhu, Z., Yang, X. (2015). Variations of cadmium tolerance and accumulation among 39 *Salix* clones: implications for phytoextraction. *Environ Earth Sci*, 73(7), 3263–3274. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3636-4>
- Ye, S., Zeng, G., Wu, H., Zhang, C., Dai, J., Liang, J., Yu, J., Ren, X., Yi, H., Cheng, M., Zhang, C. (2017). Biological technologies for the remediation of co-contaminated soil. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37(8), 1062–1076. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.130435>
- Yin, Y., Wang, Y., Liu, Y., Zeng, G., Hu, X., Hu, X., Zhou, L., Guo, Y., Li J. (2015). Cadmium accumulation and apoplastic and symplastic transport in *Boehmeria nivea* (L.)

Gaudich on cadmium-contaminated soil with the addition of EDTA or NTA. RSC Adv, 5, 47584-47591. <https://doi.org/10.1039/C5RA05717E>

Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ma, L.Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Sci Total Environ*, 368, 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.01.016>.

Yu, M., Zhuo, R., Lu, Z., Li, S., Chen, J., Wang, Y., Li, J., Han, X. (2023). Molecular insights into lignin biosynthesis on cadmium tolerance: Morphology, transcriptome and proteome profiling in *Salix matsudana*. *Journal of Hazardous Materials*, 441, 129909. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129909>

Yu, X. Z., Gu, J. D. (2006). Uptake, metabolism, and toxicity of methyl tert-butyl ether (MTBE) in weeping willows. *J Hazard Mater*, 137 (3), 1417–1423. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.04.024>

Zacchini, M., Iori, V., Scarascia Mugnozza, G., Pietrini, F., Massacci, A. (2011). Cadmium accumulation and tolerance in *Populus nigra* and *Salix alba*. *Biologia Plantarum*, 55(2), 383–386. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0060-4>

Zacchini, M., Pietrini, F., Mugnozza, S. G., Iori, V., Pietrosanti, L., Massacci A. (2009). Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics. *Water Air Soil Pollut* 197 (1), 23–34. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9788-7>

Zárubová, P., Hejzman, M., Vondráčková, S., Mrnka, L., Száková, J., Tlustoš, P. (2015). Distribution of P, K, Ca, Mg, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn in wood and bark age classes of willows and poplars used for phytoextraction on soils contaminated by risk elements. *Environ Sci Pollut Res* 22, 18801–18813. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5043-0>

Zárubová, P., Hejzman, M., Vondráčková, S., Mrnka, L., Száková, J., Tlustoš, P. (2015). Effect of aging on concentrations of P, K, Ca, Mg, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, and Zn in wood and bark of willows and poplars used for phytoextraction on soils contaminated by risk elements. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 18801–18813. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5043-0>

Zhai, F., Li, H., Zhang, S., Li, Z., Liu, J., Qian, Y., JU, G., Zhang, Y., Liu, L., Han, L., Sun, Z. (2020). Male and Female Plants of *Salix viminalis* Perform Similarly to Flooding in Morphology, Anatomy, and Physiology. *Forests*, 11 (3), 321. <https://doi.org/10.3390/f11030321>

Zhang, Q., Wang, L., Wang, Z., Zhang, R., Liu, P., Liu, M., Liu, Z., Zhao, Z., Wang, L., Chen, X., Xu, H. (2021). The regulation of cell wall lignification and lignin biosynthesis during pigmentation of winter jujube. *Hortic Res* 8, 238. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00670-4>

Zhang, S., Chen, H., He, D., He, X., Yan, Y., Wu, K., Wei, H. (2020). Effects of Exogenous Organic Acids on Cd Tolerance Mechanism of *Salix variegata* Franch. Under Cd Stress. *Front. Plant Sci.* 2020, 11, 594352. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.594352>

Zhang, X. Y., Wang, W. (2015). The decomposition of fine and coarse roots: their global patterns and controlling factors. *Sci Rep* 5, 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep09940>

Zhang, Y. Luo, P. Xu, J. Hou, J. Zhai, L. (2002). Intra-Annual Growth and Its Response to Climatic Factors of Two *Salix* Species under Warm Temperate Environment. *Forests*, 13, 1441. <https://doi.org/10.3390/f13091441>

- Zhao, X. (2016). Spatial variation of vessel grouping in the xylem of *Betula platyphylla* Roth. *J Plant Res.* 129, 29-37. <https://doi.org/10.1007/s10265-015-0768-x>
- Zhivotovsky, O., Kuzovkina, Y. (2010). Response of Two *Salix* L. Species to Water Deficit. *Journal of Environmental Horticulture*, 28, 63-68. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-28.2.63>.
- Zhou, H., Chen, Y., Zhu, C. Yang, Y., Ye, Z. (2019). Water transport and water use efficiency differ among *Populus euphratica* Oliv. saplings exposed to saline water irrigation. *J. Arid Land* 11, 866–879. <https://doi.org/10.1007/s40333-019-0002-0>
- Zhou, J., Zhang, Z., Sun, G., Fang, X., Zha, T., Chen, J., Noormets, A., Guo, J., McNulty, S. (2014). Water-use efficiency of a poplar plantation in Northern China. *Journal of Forest Research*, 19 (6), 483–492. <https://doi.org/10.1007/s10310-014-0436-3>
- Zhou, X., Wang, Y., Wang, L., Lv, J., Zhao, R. (2017). Cell wall structure and mechanical properties of *Salix psammophila*. *Wood Research*, 62, 1-12.
- Ziemińska, K., Westoby, M., & Wright, I. J. (2015). Broad anatomical variation within a narrow wood density range—A study of twig wood across 69 Australian angiosperms. *PLoS One*, 10, e0124892. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124892>
- Zimmermann, J., Link, R. M., Hauck, M., Leuschner, C., Schuldt, B. (2021). 60-year record of stem xylem anatomy and related hydraulic modification under increased summer drought in ring- and diffuse-porous temperate broad-leaved tree species. *Trees*, 35, 919–937. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02090-2>
- Zimmermann, M. H. (1983). *Xylem structure and the ascent of sap*. New York, Springer-Verlag.
- Zorić, L., Ljubojević, M., Merkulov, Lj., Luković, J., Ognjanov, V. (2012). Anatomical Characteristics of Cherry Rootstocks as Possible Preselecting Tools for Prediction of Tree Vigor. *J Plant Growth Regul*, 31, 320–331. <https://doi.org/10.1007/s00344-011-9243-7>
- Zorić, L., Mikić, A., Antanasović, S., Karanović, D., Čupina, B., Luković, J. (2015). Stem anatomy of annual legume intercropping components: white lupin (*Lupinus albus* L.), narbonne (*Vicia narbonensis* L.) and common (*Vicia sativa* L.) vetches. *Agricultural and Food Science*, 24(2), 139–149. <https://doi.org/10.23986/afsci.48223>
- Zorić, L., Mikić, A., Čupina, B., Luković, J., Krstić, Dj., Antanasović, S. (2014). Digestibility-related histological attributes of vegetative organs of barrel medic (*Medicago truncatula* Gaertn.) cultivars. *Zemdirbyste-Agriculture*, 101 (3), p. 257–264. <https://doi.org/10.13080/z-a.2014.101.033>
- Zou, Y., Zhang, C., Ju, X., Wang, Z., Wu, Y., Yuan, J., Chen, W., He, R. (2019). Effect of removing cadmium with citric acid on the physicochemical and microstructure properties of rice bran. *Food Control*, 98, 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.044>

9. Prilog

9.1. Analiza anatomskih karaktera reznica tri klona *Salix* spp.

Slika P1. Poprečni presjek reznica tri klona *Salix* spp. gajenih u prisustvu limunske kiseline:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’,

pod uveličanjima od 40×, 100× i 400×.

Oznake:

gtr – grupisane traheje

ka – kambijum

p – periderm

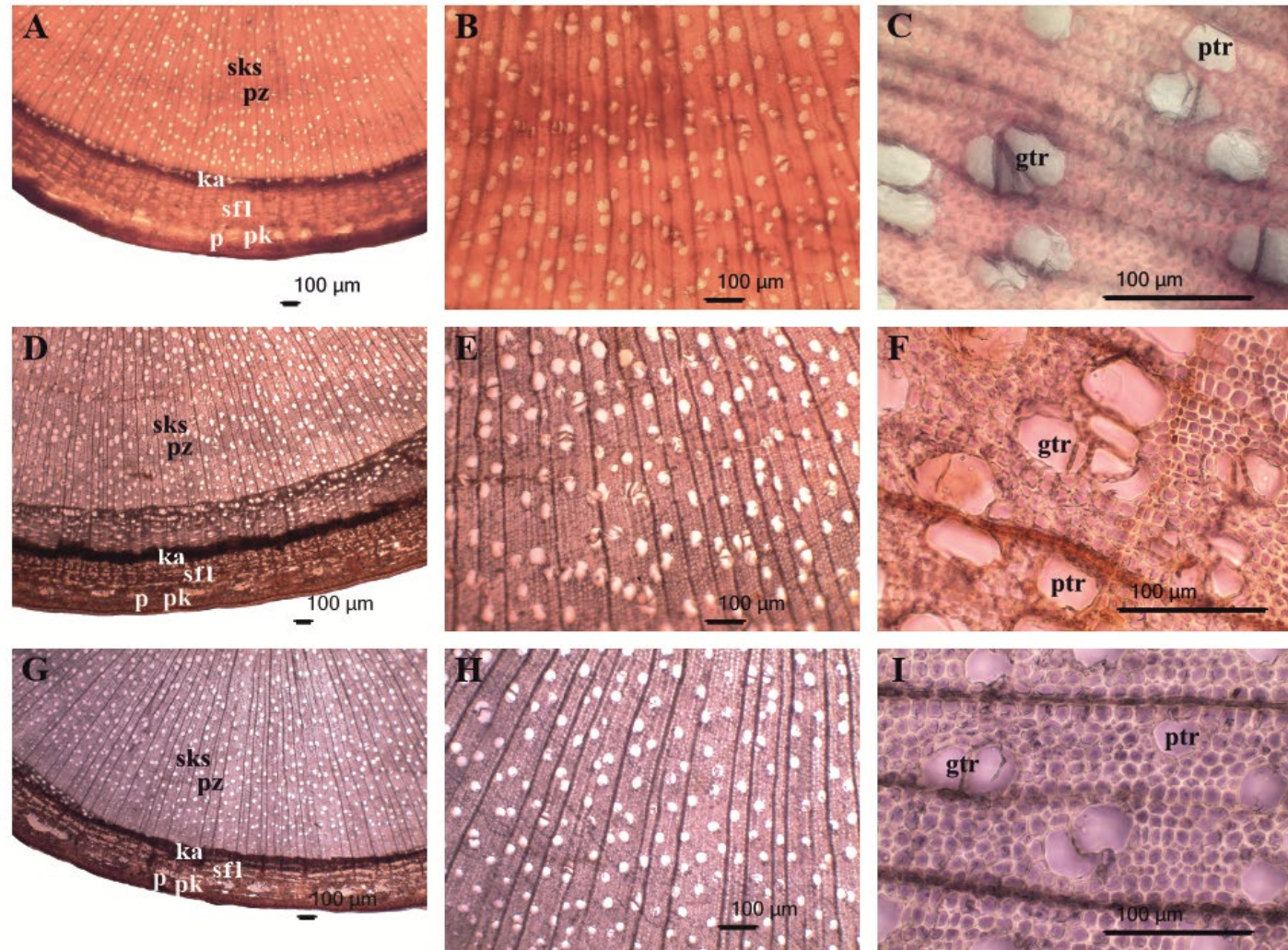
pk – primarna kora

ptr – pojedinačna traheja

pz – parenhimski zrak

sfl – sekundarni floem

sks – sekundarni ksilem



9.2. Uticaj Cd na anatomske parametre reznica klonova vrba

Slika P2. Poprečni presjek reznica tri klonova *Salix* spp. gajenih pod uticajem Cd 3:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’,

pod uveličanjima od 40×, 100× i 400×.

Oznake:

gtr – grupisane traheje

ka – kambijum

p – periderm

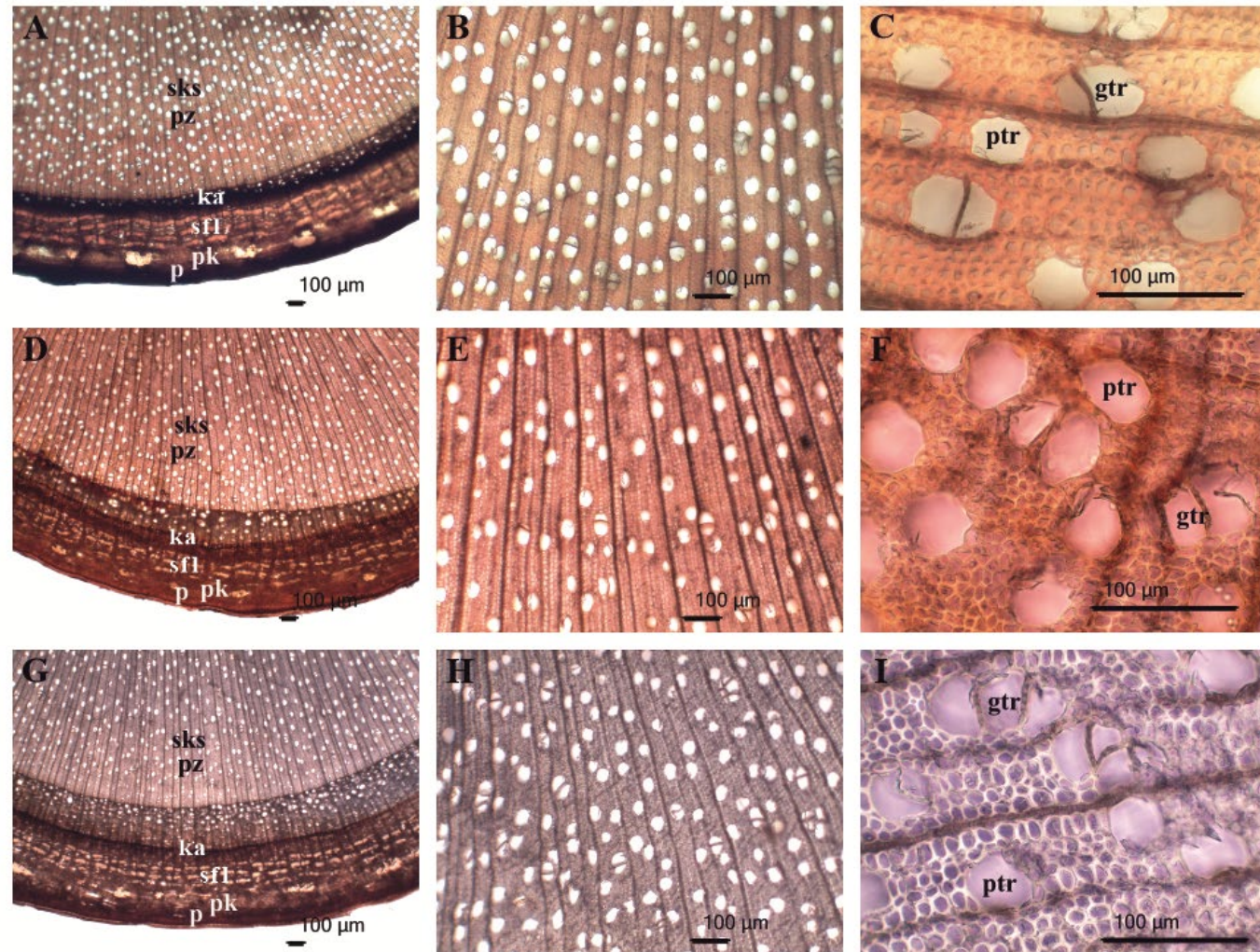
pk – primarna kora

ptr – pojedinačna traheja

pz – parenhimski zrak

sfl – sekundarni floem

sks – sekundarni ksilem



Slika P3. Poprečni presjek
 reznica tri klon *Salix* spp.
 gajenih pod uticajem Cd 6:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon
 ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon
 ‘SM4041’,

pod uveličanjima od 40×,
 100× i 400×.

Oznake:

gtr – grupisane traheje

ka – kambijum

p – periderm

pk – primarna kora

ptr – pojedinačna traheja

pz – parenhimski zrak

sfl – sekundarni floem

sks – sekundarni ksilem

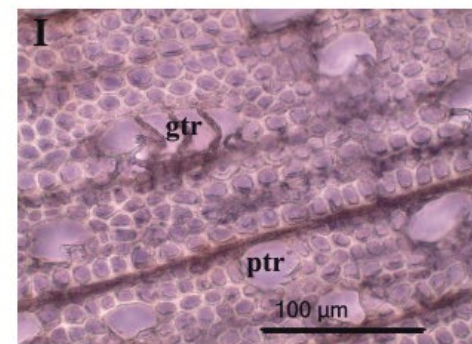
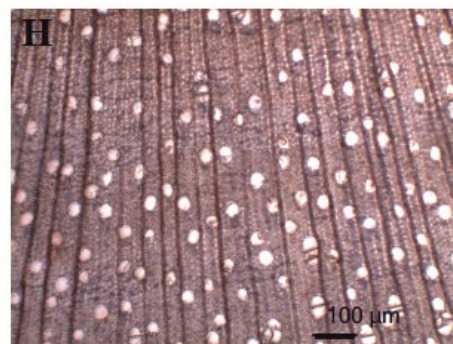
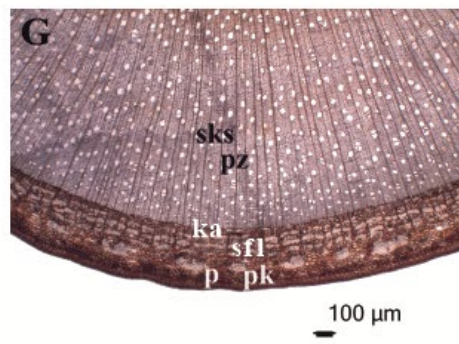
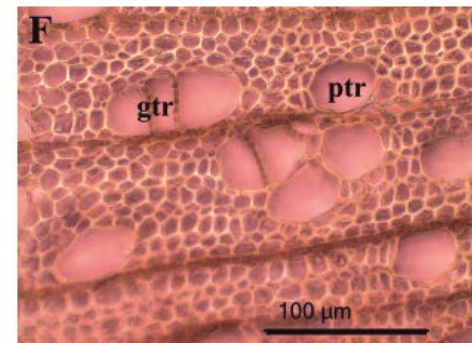
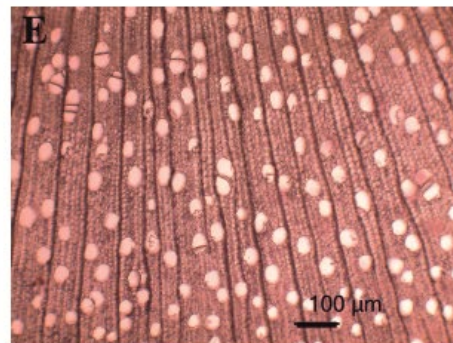
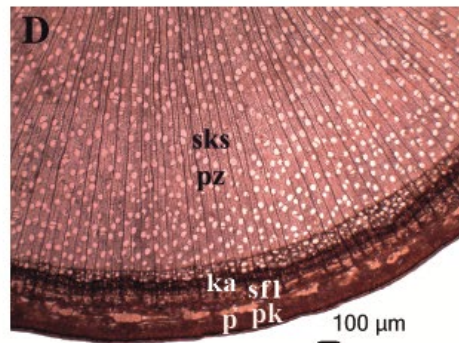
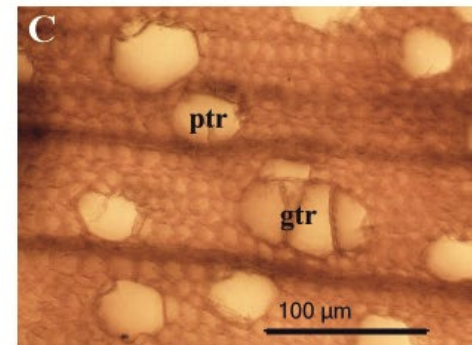
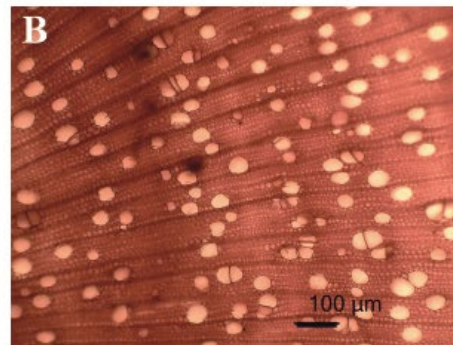
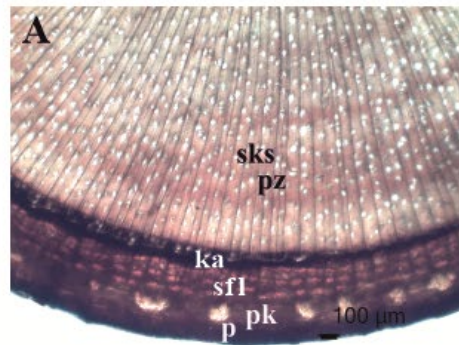


Tabela P1. Dvofaktorijalna ANOVA pokazuje statistički značaj uticaj faktora tri klona *Salix spp.* ('B-44', 'SV068' i 'SM4041'), tretmana Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu i interakcije klon×tretman na anatomske karaktere nadzemnog segmenta reznica

	Klon	Tretman Cd 3	Klon×Tretman Cd 3	Klon	Tretman Cd 6	Klon×Tretman Cd 6
% Periderma	*	*	*	*	*	*
% Primarne kore	*	*	*	*	*	*
% Sekundarnog floema	*	*	*	*	n. s.	*
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	*	*	*	*	*	*
Odnos ksilem/ sekundarni floem	*	*	*	*	n. s.	*
% Srži	*	*	*	*	*	*
% Traheja u ksilemu	*	*	n. s.	*	*	*
Broj traheja po mm ² ksilema	*	*	*	n. s.	*	n. s.
Prosječna površina traheja	*	*	n. s.	*	n. s.	*
$k_h \cdot 10^{-6}$	*	*	*	n. s.	*	n. s.
V_i	n. s.	*	*	*	n. s.	*
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	*	*
P pojedinačnih traheja	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	*	*	n. s.	*	*	*
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	*	*
P jedne grupisane traheje	*	*	*	*	*	*
% Grupisanih traheja u ksilemu	*	*	*	*	*	*
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	*	*
Broj traheja u jednoj grupi	n. s.	*	*	n. s.	*	n. s.
V_g	*	*	*	*	n. s.	*

(*): $p \leq 0,05$, (n. s.): $p > 0,05$. P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; V_g – indeks grupisanja.

Površina pojedinačnih traheja u ksilemu nadzemnih segmenata reznica tri klona vrba je bila jedini karakter na koji klon i tretman Cd 3 kao faktori nisu imali statistički značajan uticaj. Uticaj tretmana Cd 3 na sve ostale anatomske karaktere nadzemnih segmenata bio je izraženiji u odnosu na klon kao faktor. Interakcija ovih faktora je najmanje izražena; nije značajno uticala na procenat i prosječnu površinu svih traheja u ksilemu kao ni na iste parametre pojedinačnih traheja. Faktor klon i interakcija klona i tretmana Cd 6 su značajno uticali na većinu karaktera nadzemnih segmenata reznica, izuzev ukupnog broja traheja po mm² ksilema, površine pojedinačnih traheja, broja traheja u jednoj grupi i teoretske hidrauličke provodljivosti ksilema. Tretman Cd 6 nije imao signifikantan uticaj na: procentualni udio sekundarnog floema i odnos između ksilema i sekundarnog floema, prosječnu površinu svih traheja i izračunate vrijednosti V_i i V_g (Tabela P1).

Tabela P2. Dvofaktorijalna ANOVA pokazuje statistički značaj uticaja faktora tri klona *Salix spp.* ('B-44', 'SV068' i 'SM4041'), tretmana Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu i interakcije klon×tretman na anatomske karaktere karaktere podzemnog segmenta reznica

	Klon	Tretman Cd 3	Klon×Tretman Cd 3	Klon	Tretman Cd 6	Klon×Tretman Cd 6
% Periderma	*	*	*	*	*	*
% Primarne kore	*	*	*	*	*	*
% Sekundarnog floema	n. s.	*	*	*	n. s.	*
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	*	*	*	*	*	*
Odnos ksilem/ sekundarni floem	*	n. s.	*	*	*	*
% Srži	*	*	*	*	*	*
% Traheja u ksilemu	n. s.	*	*	*	*	*
Broj traheja po mm ² ksilema	n. s.	*	*	*	*	*
Prosječna površina traheja	*	*	n. s.	*	n. s.	*
$k_h \cdot 10^{-6}$	*	n. s.	n. s.	*	*	*
V_i	*	n. s.	*	*	n. s.	*
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	*	*
P pojedinačnih traheja	*	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	n. s.	n. s.	*	*	*	n. s.
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	*	*
P jedne grupisane traheje	*	*	n. s.	*	*	*
% Grupisanih traheja u ksilemu	*	*	*	*	*	*
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	*	*
Broj traheja u jednoj grupi	n. s.	n. s.	*	n. s.	n. s.	n. s.
V_g	*	*	*	*	n. s.	*

(*): $p \leq 0,05$, (n. s.): $p > 0,05$. P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; V_g – indeks grupisanja.

U podzemnom segmentu reznica tri analizirana genotipa vrba, faktor klon nije značajno uticao na procenat: sekundarnog floema, svih traheja u ksilemu i pojedinačnih traheja. Pored toga klon nije imao značajan efekt na ukupan broj traheja po mm² ksilema i broj traheja u jednoj grupi. Zapaža se odsustvo uticaja tretmana Cd 3 na veći broj anatomskih karaktera: odnos ksilema i sekundarnog floema; procenat i površinu pojedinačnih traheja; broj traheja po jednoj grupi; vrijednosti k_h i V_i . Interakcija klona i tretmana nije imala značajan uticaj na površinu svih, pojedinačnih i grupisanih traheja. Faktor klon i interakcija klona i tretmana Cd 6 imali su izraženiji uticaj na anatomske parametre podzemnog segmenta reznica tri genotipa vrba, u odnosu na tretman Cd 6 kao pojedinačan faktor. Površina solitarnih traheja i broj traheja u jednoj grupi bili su jedini anatomske karakteri na koje ni faktori klon i tretman Cd 6 kao ni njihova interakcija nisu značajno uticali. Tretman Cd 6 nije imao signifikantan uticaj na: procentualni udio sekundarnog floema; prosječnu površinu svih traheja; vrijednosti V_i i V_g (Tabela P2.).

Tabela P3. Anatomske karaktere nadzemnog segmenta reznice *Salix alba* klon 'B-44' pod uticajem Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere reznice	Kontrola	Cd 3	Cd 6
% Periderma	1,18 \pm 0,05 (18,1) b*	1,16 \pm 0,06 (21,2) b	2,98 \pm 0,09 (11,5) a
% Primarne kore	4,03 \pm 0,28 (26,6) b	4,4 \pm 0,20 (17,4) b	5,21 \pm 0,21 (15,9) a
% Sekundarnog floema	10,0 \pm 0,26 (10,1) b	14,4 \pm 0,51 (13,7) a	10,4 \pm 0,26 (9,74) b
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	63,9 \pm 0,87 (5,28) b	51,9 \pm 1,31 (9,80) c	72,1 \pm 0,44 (2,36) a
Odnos ksilema/ sekundarni floem	6,45 \pm 0,22 (13,2) a	3,71 \pm 0,23 (23,6) b	7,01 \pm 0,20 (11,3) a
% Srži	20,9 \pm 0,89 (16,4) b	28,1 \pm 0,81 (11,1) a	9,34 \pm 0,17 (7,09) c
% Traheja u ksilemu	6,51 \pm 0,24 (14,2) b	11,3 \pm 0,69 (23,7) a	5,84 \pm 0,19 (12,6) b
Broj traheja po mm ² ksilema	140 \pm 3,12 (8,66) b	161 \pm 2,51 (6,05) a	134 \pm 3,40 (9,84) b
Prosječna površina traheja	811 \pm 29,6 (14,1) a	821 \pm 38,4 (18,12) a	1048 \pm 73,1 (27,0) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,41 \pm 0,01 (28,5) b	0,28 \pm 0,04 (50,2) c	0,57 \pm 0,53 (35,8) a
V_i	0,24 \pm 0,01 (13,2) b	0,38 \pm 0,02 (16,7) a	0,27 \pm 0,01 (16,4) b
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	85,1 \pm 2,77 (12,6) c	121 \pm 1,64 (5,24) a	105 \pm 2,16 (7,97) b
P pojedinačnih traheja	1243 \pm 48,8 (15,2) a	1077 \pm 76,1 (27,4) ab	1034 \pm 73,1 (27,4) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	3,96 \pm 0,17 (16,5) b	8,55 \pm 0,52 (23,5) a	4,58 \pm 0,13 (10,9) b
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	54,5 \pm 1,48 (10,5) a	39,1 \pm 1,48 (14,6) b	28,9 \pm 1,68 (22,6) c
P jedne grupisane traheje	378 \pm 5,86 (26,4) b	566 \pm 10,8 (7,39) a	537 \pm 10,2 (7,39) a
% Grupisanih traheja u ksilemu	2,55 \pm 0,11 (16,8) a	2,76 \pm 0,19 (26,8) a	1,26 \pm 0,08 (24,3) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	21,7 \pm 0,78 (14,0) a	16,7 \pm 0,63 (14,6) b	10,9 \pm 0,59 (20,9) c
Broj traheja u jednoj grupi	2,57 \pm 0,05 (7,71) ab	2,35 \pm 0,05 (8,84) b	2,70 \pm 0,17 (24,6) a
V_g	1,31 \pm 0,01 (3,23) a	1,16 \pm 0,01 (2,29) b	1,16 \pm 0,01 (4,14) b

*Srednje vrijednosti označene različitim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike između kontrole i biljaka tretiranih Cd (Duncan test, $p \leq 0,05$). P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; V_g – indeks grupisanja.

Tabela P4. Anatomske karaktere nadzemnog segmenta reznice klona *Salix viminalis* klon 'SV068' pod uticajem Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere reznice	Kontrola	Cd 3	Cd 6
% Periderma	2,82 \pm 0,10 (13,7) a*	1,33 \pm 0,07 (21,2) b	2,99 \pm 0,09 (11,5) a
% Primarne kore	4,97 \pm 0,60 (46,4) a	5,06 \pm 0,23 (17,4) a	5,23 \pm 0,22 (15,9) a
% Sekundarnog floema	9,07 \pm 0,65 (27,9) b	16,6 \pm 0,59 (13,7) a	10,4 \pm 0,26 (9,73) b
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	74,4 \pm 1,24 (6,43) a	59,7 \pm 1,51 (9,80) b	72,3 \pm 0,44 (2,36) a
Odnos ksilema/ sekundarni floem	8,98 \pm 0,79 (34,2) a	4,27 \pm 0,26 (23,6) b	7,03 \pm 0,20 (11,3) a
% Srži	8,73 \pm 0,27 (12,1) b	32,3 \pm 0,93 (11,1) a	9,37 \pm 0,17 (7,09) b
% Traheja u ksilemu	5,72 \pm 0,20 (13,2) b	13,0 \pm 0,80 (23,7) a	5,86 \pm 0,19 (12,6) b
Broj traheja po mm ² ksilema	143 \pm 1,98 (5,38) b	185 \pm 2,85 (5,97) a	134 \pm 3,40 (9,84) b
Prosječna površina traheja	1070 \pm 34,0 (12,3) a	945 \pm 44,2 (18,1) a	1052 \pm 73,3 (27,0) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,48 \pm 0,04 (43,3) a	0,49 \pm 0,04 (49,5) a	0,38 \pm 0,53 (35,8) b
V_i	0,29 \pm 0,01 (12,3) b	0,44 \pm 0,02 (16,9) a	0,27 \pm 0,01 (16,4) b
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	122 \pm 1,74 (5,55) b	140 \pm 1,88 (5,21) a	105 \pm 2,16 (7,97) c
P pojedinačnih traheja	1199 \pm 25,2 (38,1) a	1239 \pm 87,6 (27,4) a	1037 \pm 3,32 (27,4) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	4,88 \pm 0,17 (13,5) b	9,83 \pm 0,60 (23,5) a	4,59 \pm 0,13 (10,9) b
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	21,1 \pm 0,82 (15,1) c	45,1 \pm 1,65 (14,2) a	28,9 \pm 1,68 (22,6) b
P jedne grupisane traheje	941 \pm 65,7 (27,0) a	650 \pm 12,4 (7,39) b	539 \pm 10,3 (7,39) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	0,84 \pm 0,04 (18,7) c	3,17 \pm 0,22 (26,8) a	1,26 \pm 0,08 (24,5) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	10,5 \pm 0,44 (16,0) b	19,2 \pm 0,74 (15,0) a	10,9 \pm 0,59 (20,9) b
Broj traheja u jednoj grupi	2,01 \pm 0,04 (7,01) b	2,71 \pm 0,06 (8,87) a	2,71 \pm 0,17 (24,5) a
V_g	1,08 \pm 0,00 (1,38) b	1,34 \pm 0,01 (2,31) a	1,15 \pm 0,01 (4,14) b

*Srednje vrijednosti označene različitim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike između kontrole i biljaka tretiranih Cd (Duncan test, $p \leq 0,05$). P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; V_g – indeks grupisanja.

Tabela P5. Anatomske karaktere nadzemnog segmenta reznice *Salix matsudana* klon 'SM4041' pod uticajem Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere reznice	Kontrola	Cd 3	Cd 6
% Periderma	3,73 \pm 0,15 (15,3) a*	1,42 \pm 0,09 (23,2) b	2,19 \pm 0,05 (10,3) b
% Primarne kore	9,21 \pm 0,23 (9,46) a	6,11 \pm 0,32 (20,7) b	6,23 \pm 0,28 (19,9) b
% Sekundarnog floema	12,5 \pm 0,36 (11,23) b	17,6 \pm 0,61 (17,0) a	11,4 \pm 0,30 (9,85) b
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	61,9 \pm 0,41 (2,58) a	60,5 \pm 1,15 (8,88) a	62,3 \pm 0,55 (3,65) a
Odnos ksilema/ sekundarni floem	5,01 \pm 0,18 (13,7) a	3,57 \pm 0,23 (22,8) b	5,53 \pm 0,22 (11,2) a
% Srži	12,6 \pm 0,29 (8,87) b	29,3 \pm 0,56 (11,7) a	10,7 \pm 0,21 (8,29) b
% Traheja u ksilemu	7,61 \pm 0,14 (6,93) b	14,0 \pm 0,75 (27,2) a	5,86 \pm 0,19 (12,6) b
Broj traheja po mm ² ksilema	153 \pm 2,28 (5,77) b	188 \pm 2,51 (7,74) a	144 \pm 4,10 (7,81) b
Prosječna površina traheja	1054 \pm 27,5 (10,1) a	985 \pm 34,7 (17,4) a	1055 \pm 63,6 (25,1) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,62 \pm 0,01 (6,84) a	0,59 \pm 0,04 (9,50) a	0,57 \pm 0,02 (5,50) a
V_i	0,28 \pm 0,01 (8,18) a	0,24 \pm 0,02 (6,9) a	0,27 \pm 0,01 (5,10) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	126 \pm 2,14 (6,58) b	140 \pm 1,88 (5,21) a	115 \pm 1,26 (7,18) c
P pojedinačnih traheja	1129 \pm 29,5 (10,1) a	1239 \pm 87,6 (27,4) a	1133 \pm 3,41 (24,0) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	6,28 \pm 0,13 (8,06) b	9,83 \pm 0,60 (23,5) a	4,19 \pm 0,25 (14,9) c
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	26,7 \pm 1,75 (25,3) b	45,1 \pm 1,65 (14,2) a	27,6 \pm 1,66 (12,6) b
P jedne grupisane traheje	978 \pm 41,6 (16,4) a	650 \pm 12,4 (7,39) b	545 \pm 13,0 (11,3) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	1,33 \pm 0,08 (24,7) b	3,17 \pm 0,22 (26,8) a	1,28 \pm 0,08 (24,2) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	11,3 \pm 0,52 (17,9) b	19,2 \pm 0,74 (15,0) a	12,1 \pm 0,60 (19,7) b
Broj traheja u jednoj grupi	2,44 \pm 0,19 (30,3) a	2,71 \pm 0,06 (8,87) a	2,71 \pm 0,16 (12,2) a
V_g	1,11 \pm 0,01 (4,97) b	1,34 \pm 0,01 (2,31) a	1,14 \pm 0,01 (3,12) b

*Srednje vrijednosti označene različitim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike između kontrole i biljaka tretiranih Cd (Duncan test, $p \leq 0,05$). P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; V_g – indeks grupisanja.

Tabela P6. Anatomske karaktere podzemnog segmenta reznice *Salix alba* klon 'B-44' pod uticajem Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere reznice	Kontrola	Cd 3	Cd 6
% Periderma	1,01 \pm 0,04 (15,2) b*	1,19 \pm 0,07 (21,6) b	2,99 \pm 0,09 (11,5) a
% Primarne kore	4,73 \pm 0,24 (19,3) a	3,76 \pm 0,13 (13,1) b	5,23 \pm 0,22 (15,9) a
% Sekundarnog floema	10,7 \pm 0,53 (19,1) b	12,1 \pm 0,40 (12,8) a	10,4 \pm 0,26 (9,73) b
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	63,0 \pm 0,88 (5,39) a	72,3 \pm 0,91 (4,88) a	72,3 \pm 0,44 (2,36) a
Odnos ksilema/ sekundarni floem	6,17 \pm 0,40 (24,9) b	6,11 \pm 0,29 (18,1) b	7,03 \pm 0,2 (11,3) a
% Srži	20,6 \pm 0,85 (16,0) a	10,7 \pm 0,44 (16,1) b	9,37 \pm 0,17 (7,09) b
% Traheja u ksilemu	10,2 \pm 0,29 (10,9) a	7,60 \pm 0,36 (18,3) b	5,86 \pm 0,19 (12,6) c
Broj traheja po mm ² ksilema	183 \pm 4,04 (8,57) a	162 \pm 1,33 (3,17) b	134 \pm 3,41 (9,83) c
Prosječna površina traheja	808 \pm 36,9 (17,7) a	1089 \pm 37,8 (13,4) a	1052 \pm 73,3 (27,0) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,35 \pm 0,05 (49,5) a	0,34 \pm 0,01 (50,5) a	0,40 \pm 0,01 (53,7) a
V_i	0,40 \pm 0,05 (43,3) a	0,41 \pm 0,01 (9,90) a	0,37 \pm 0,01 (16,4) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	119 \pm 2,55 (8,29) a	122 \pm 2,03 (6,43) a	105 \pm 2,17 (7,97) b
P pojedinačnih traheja	982 \pm 64,6 (25,5) a	1032 \pm 73,5 (27,6) a	1037 \pm 73,3 (27,4) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	6,65 \pm 0,16 (9,22) a	5,74 \pm 0,30 (20,1) a	4,59 \pm 0,13 (10,9) b
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	63,7 \pm 3,12 (19,0) a	40,0 \pm 1,90 (18,4) b	29,0 \pm 1,69 (22,6) c
P jedne grupisane traheje	635 \pm 36,3 (22,13) b	1146 \pm 47,2 (15,9) a	539 \pm 10,3 (7,39) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	3,56 \pm 0,02 (21,6) a	1,85 \pm 0,10 (20,9) b	1,26 \pm 0,08 (24,5) c
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	25,0 \pm 1,48 (23,0) a	17,6 \pm 0,66 (14,5) b	11,0 \pm 0,59 (20,9) c
Broj traheja u jednoj grupi	2,59 \pm 0,03 (4,61) a	2,27 \pm 0,06 (10,4) a	2,71 \pm 0,17 (24,5) a
V_g	1,27 \pm 0,01 (3,28) a	1,16 \pm 0,01 (4,25) a	1,15 \pm 0,01 (4,14) a

*Srednje vrijednosti označene različitim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike između kontrole i biljaka tretiranih Cd (Duncan test, $p \leq 0,05$). P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; V_g – indeks grupisanja.

Tabela P7. Anatomske karaktere podzemnog segmenta reznice *Salix viminalis* klon 'SV068' pod uticajem Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere reznice	Kontrola	Cd 3	Cd 6
% Periderma	3,25 \pm 0,10 (12,1) a*	1,43 \pm 0,08 (21,67) b	3,5 \pm 0,09 (11,6) a
% Primarne kore	7,15 \pm 0,31 (16,6) a	4,51 \pm 0,15 (13,07) c	5,87 \pm 0,22 (15,9) b
% Sekundarnog floema	9,21 \pm 0,60 (25,0) b	14,5 \pm 0,48 (12,8) a	11,3 \pm 0,26 (9,72) b
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	71,5 \pm 0,94 (5,08) b	86,7 \pm 1,09 (4,88) a	58,9 \pm 0,44 (2,37) c
Odnos ksilema/ sekundarni floem	8,30 \pm 0,61 (28,7) a	9,33 \pm 0,34 (18,1) a	6,15 \pm 0,21 (11,3) b
% Srži	8,93 \pm 0,25 (10,6) c	12,8 \pm 0,53 (16,1) a	10,4 \pm 0,17 (7,09) b
% Traheja u ksilemu	7,70 \pm 0,13 (6,75) b	9,11 \pm 0,43 (18,3) a	5,88 \pm 0,19 (12,6) c
Broj traheja po mm ² ksilema	160 \pm 2,34 (5,65) b	195 \pm 1,57 (3,12) a	135 \pm 3,4 (9,76) c
Prosječna površina traheja	1098 \pm 28,7 (10,1) b	1307 \pm 45,4 (13,4) a	1057 \pm 73,7 (27,0) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,58 \pm 0,03 (44,5) a	0,62 \pm 0,01 (49,1) a	0,48 \pm 0,01 (53,7) a
V_i	0,23 \pm 0,01 (13,9) a	0,27 \pm 0,01 (9,75) a	0,22 \pm 0,01 (16,4) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	132 \pm 2,24 (6,57) b	147 \pm 2,44 (6,44) a	106 \pm 2,16 (7,89) c
P pojedinačnih traheja	1176 \pm 30,7 (10,1) a	1239 \pm 88,2 (27,6) a	1143 \pm 73,7 (27,4) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	6,34 \pm 0,13 (8,01) a	6,88 \pm 0,36 (20,1) a	4,61 \pm 0,13 (10,9) b
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	28,3 \pm 1,83 (25,0) b	48,0 \pm 2,29 (18,4) a	28,9 \pm 1,68 (22,6) b
P jedne grupisane traheje	1019 \pm 43,3 (16,4) b	1375 \pm 56,6 (15,9) a	542 \pm 10,3 (7,39) c
% Grupisanih traheja u ksilemu	1,36 \pm 0,09 (24,5) b	2,22 \pm 0,12 (20,9) a	1,27 \pm 0,08 (24,7) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	12,1 \pm 0,54 (17,3) b	21,1 \pm 0,81 (14,8) a	10,9 \pm 0,59 (20,9) b
Broj traheja u jednoj grupi	2,43 \pm 0,21 (33,0) a	2,73 \pm 0,07 (10,4) a	2,72 \pm 0,17 (24,6) a
V_g	1,12 \pm 0,02 (5,25) b	1,39 \pm 0,02 (4,29) a	1,16 \pm 0,01 (4,10) b

*Srednje vrijednosti označene različitim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike između kontrole i biljaka tretiranih Cd (Duncan test, $p \leq 0,05$). P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; V_g – indeks grupisanja.

Tabela P8. Anatomske karaktere podzemnog segmenta reznice *Salix matsudana* klon 'SM4041' pod uticajem Cd 3 i Cd 6 u odnosu na kontrolu (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere reznice	Kontrola	Cd 3	Cd 6
% Periderma	4,00 \pm 0,15 (14,10) a*	2,43 \pm 0,07 (11,5) b	3,21 \pm 0,07 (8,91) a
% Primarne kore	9,40 \pm 0,22 (9,23) a	4,22 \pm 0,13 (12,0) c	5,65 \pm 0,25 (17,2) b
% Sekundarnog floema	12,5 \pm 0,36 (11,2) a	12,1 \pm 0,39 (12,4) a	10,5 \pm 0,29 (10,5) a
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	61,2 \pm 0,41 (2,57) b	70,9 \pm 0,91 (4,95) a	71,3 \pm 0,52 (2,8) a
Odnos ksilema/ sekundarni floem	4,91 \pm 0,17 (13,4) b	5,98 \pm 0,27 (17,7) b	6,86 \pm 0,23 (12,9) a
% Srži	12,7 \pm 0,28 (8,64) a	10,4 \pm 0,42 (15,6) b	9,34 \pm 0,14 (5,72) b
% Traheja u ksilemu	7,70 \pm 0,13 (6,75) b	9,56 \pm 0,53 (21,6) a	6,54 \pm 0,21 (14,4) c
Broj traheja po mm ² ksilema	166 \pm 2,50 (5,70) b	197 \pm 1,71 (3,40) a	144 \pm 4,31 (67,5) c
Prosječna površina traheja	1086 \pm 25,4 (9,43) b	1299 \pm 47,1 (14,4) a	1077 \pm 67,2 (17,1) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,50 \pm 0,03 (21,7) a	0,58 \pm 0,01 (46,9) a	0,51 \pm 0,01 (50,1) a
V_i	0,32 \pm 0,02 (12,5) a	0,29 \pm 0,01 (8,78) a	0,27 \pm 0,01 (14,9) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	136 \pm 2,33 (6,90) b	150 \pm 3,55 (7,56) a	115 \pm 2,11 (7,77) c
P pojedinačnih traheja	1186 \pm 32,4 (11,0) a	1209 \pm 78,6 (25,7) a	1139 \pm 76,1 (23,7) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	7,85 \pm 0,15 (10,5) a	6,58 \pm 0,20 (11,9) a	5,62 \pm 0,15 (10,8) b
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	29,5 \pm 1,85 (26,1) b	46,5 \pm 22,5 (14,7) a	28,6 \pm 1,56 (22,3) b
P jedne grupisane traheje	1025 \pm 45,6 (18,6) b	1358 \pm 55,6 (19,5) a	565 \pm 13,3 (7,65) c
% Grupisanih traheja u ksilemu	1,39 \pm 0,10 (27,4) b	2,55 \pm 0,14 (22,6) a	1,31 \pm 0,05 (26,4) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	11,4 \pm 0,40 (15,3) b	22,4 \pm 0,90 (16,4) a	10,8 \pm 0,55 (21,7) b
Broj traheja u jednoj grupi	2,55 \pm 0,26 (35,7) a	2,73 \pm 0,17 (31,4) a	2,68 \pm 0,17 (24,54) a
V_g	1,14 \pm 0,03 (5,43) b	1,36 \pm 0,02 (5,22) a	1,15 \pm 0,01 (3,89) b

*Srednje vrijednosti označene različitim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike između kontrole i biljaka tretiranih Cd (Duncan test, $p \leq 0,05$). P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; V_g – indeks grupisanja.

9.3. Promjene anatomskih osobina reznica klonova vrba tretiranih Cd u prisustvu limunske kiseline

Slika P4. Poprečni presjek reznica tri klona *Salix* spp. gajenih pod uticajem Cd 3+L:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’,

pod uveličanjima od 40×, 100× i 400×.

Oznake:

gtr – grupisane traheje

ka – kambijum

p – periderm

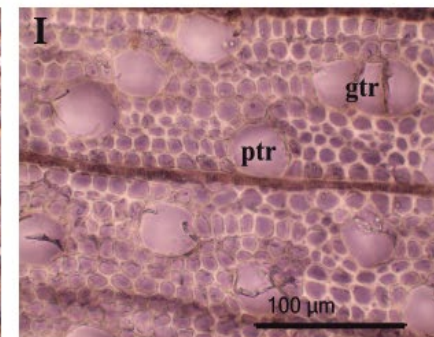
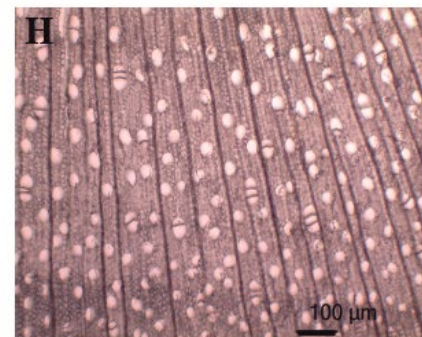
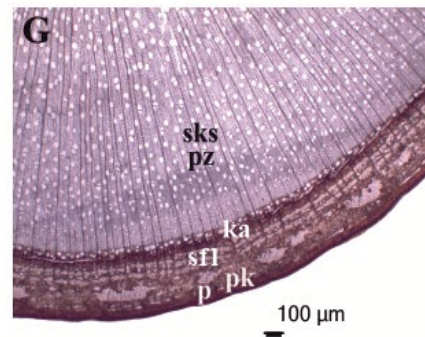
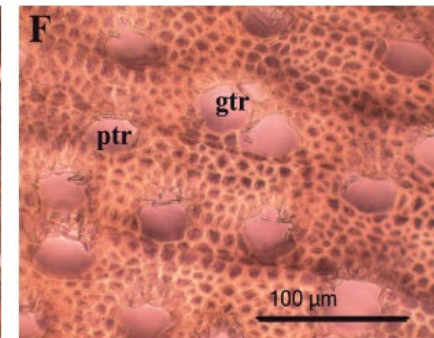
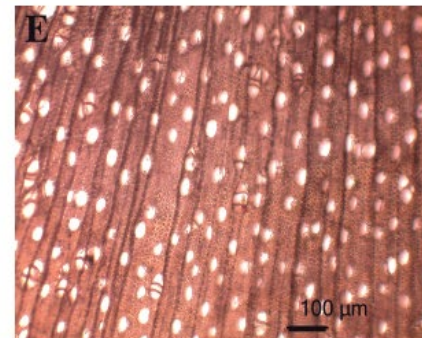
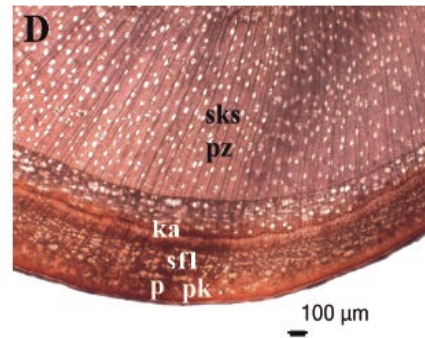
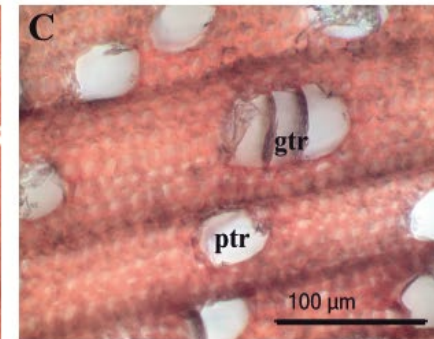
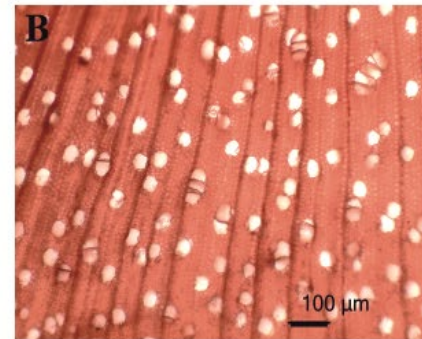
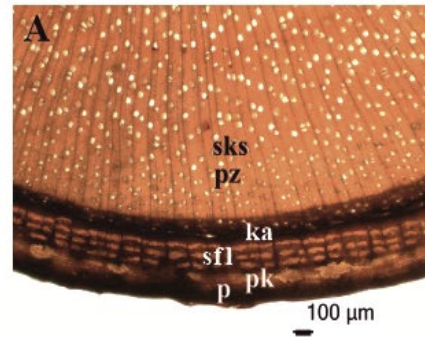
pk – primarna kora

ptr – pojedinačna traheja

pz – parenhimski zrak

sfl – sekundarni floem

sks – sekundarni ksilem



Slika P5. Poprečni presjek
reznica tri klona *Salix* spp.
gajenih pod uticajem Cd 6+L:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon
‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon
‘SM4041’,

pod uveličanjima od 40×,
100× i 400×.

Oznake:

gtr – grupisane traheje

ka – kambijum

p – periderm

pk – primarna kora

ptr – pojedinačna traheja

pz – parenhimski zrak

sfl – sekundarni floem

sks – sekundarni ksilem

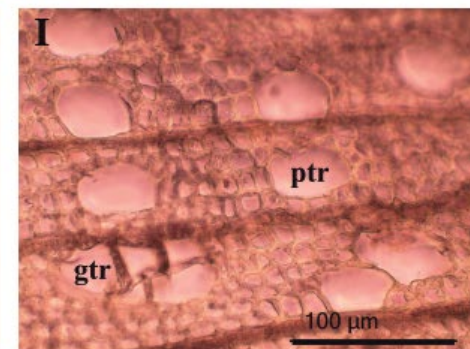
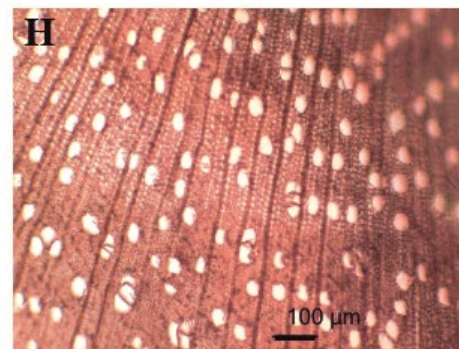
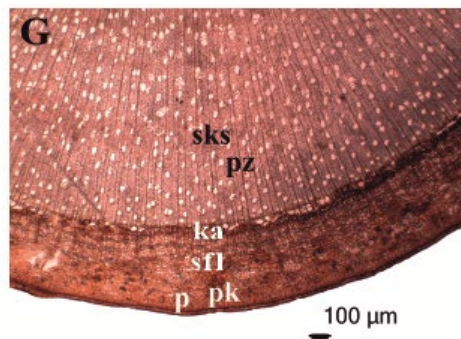
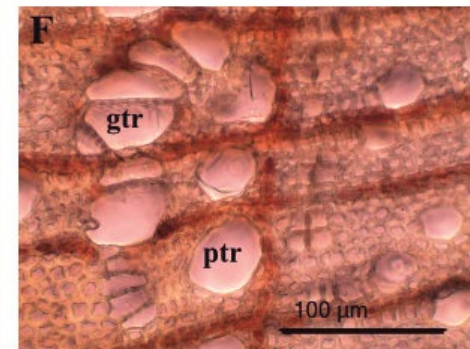
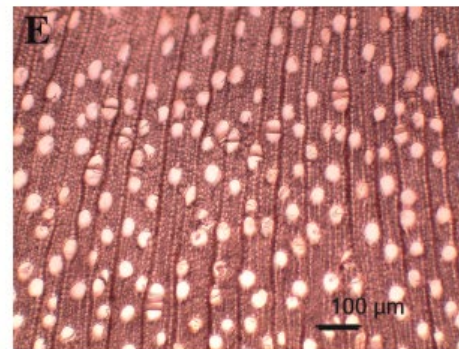
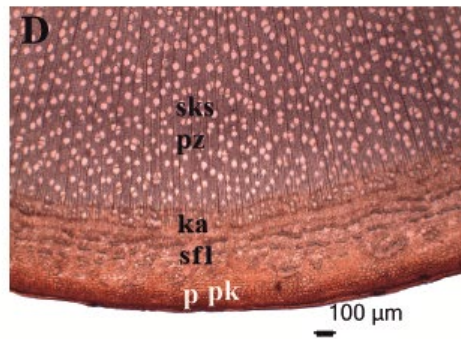
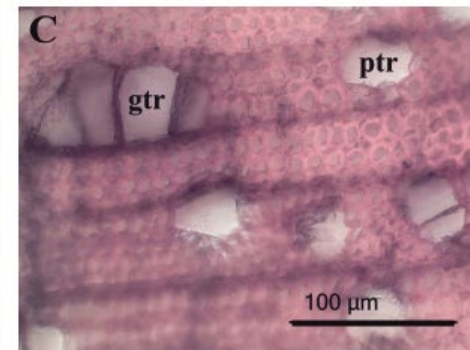
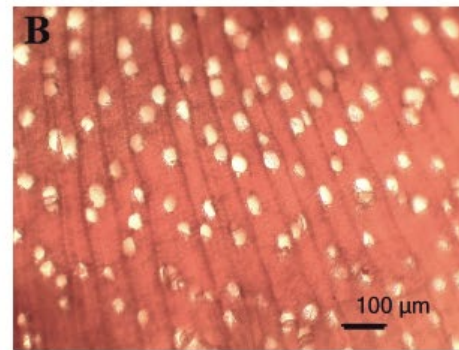
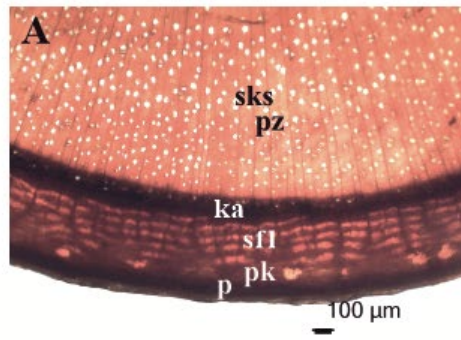


Tabela P9. Dvofaktorijalna ANOVA pokazuje statistički značaj tri klona *Salix* spp. ('B-44', 'SV068' i 'SM4041'), tretmana Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom i interakcije klon×tretman na anatomske karaktere karaktere podzemnog segmenta reznica

	Klon	Tretman Cd 3+L	Klon×Tretman Cd 3+L	Klon	Tretman Cd 6+L	Klon×Tretman Cd 6+L
% Periderma	*	*	*	*	*	*
% Primarne kore	*	*	n. s.	n. s.	n. s.	*
% Sekundarnog floema	*	*	*	*	*	*
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	*	*	n. s.	*	*	*
Odnos ksilem/ sekundarni floem	*	*	*	n. s.	*	*
% Srži	*	*	*	*	*	*
% Traheja u ksilemu	*	n. s.	*	*	n. s.	*
Broj traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	*	*
Prosječna površina traheja	*	*	*	*	*	*
$k_h \cdot 10^{-6}$	*	*	*	*	*	*
V_i	*	*	*	*	*	*
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	*	*
P pojedinačnih traheja	*	n. s.	*	*	n. s.	n. s.
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	*	n. s.	*	*	n. s.	*
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	*	*
P jedne grupisane traheje	*	*	*	*	*	*
% Grupisanih traheja u ksilemu	*	n. s.	*	*	*	*
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	*	*
Broj traheja u jednoj grupi	*	*	n. s.	*	*	*
V_g	*	*	*	*	n. s.	*

(*): $p \leq 0,05$, (n. s.): $p > 0,05$. P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; V_g – indeks grupisanja.

Tretman Cd 3+L nije imao značajan uticaj na svih, pojedinačnih i grupisanih traheja i površinu pojedinačnih traheja u ksilemu nadzemnog segmenta. Klon vrba kao faktor u potpunosti je uticao na anatomske karaktere nadzemnog segmenta reznice. Interakcija klona i tretmana nije bila značajna za proporcije primarne kore i ksilema, a nije uticala ni na broj traheja u jednoj grupi.

Ni klon ni kombinovani tretman sa Cd 6+L nisu imali značajan uticaj na proporciju primarne kore i odnos ksilema i sekundarnog floema nadzemnog segmenta reznica klonova vrba, u odnosu na njihovu interakciju. Tretman Cd 6+L nije doveo do značajnih promjena procenata ukupnih i solitarnih traheja. Dalje, nije značajno djelovao ni na površinu solitarnih traheja i indeks grupisanja (Tabela P9.).

Tabela P10. Dvofaktorijska ANOVA pokazuje statistički značaj tri klon *Salix* spp. ('B-44', 'SV068' i 'SM4041'), tretmana Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu sa limunskom kiselinom i interakcije klon×tretman na anatomske karaktere karaktere podzemnog segmenta reznica

	Klon	Tretman Cd 3+L	Klon×Tretman Cd 3+L	Klon	Tretman Cd 6+L	Klon×Tretman Cd 6+L
% Periderma	*	n. s.	*	*	*	*
% Primarne kore	*	*	*	*	*	*
% Sekundarnog floema	*	*	*	*	*	*
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	*	*	*	*	*	*
Odnos ksilema/ sekundarni floem	*	*	*	n. s.	*	*
% Srži	*	*	*	*	*	*
% Traheja u ksilemu	*	*	*	*	*	*
Broj traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	n. s.	*
Prosječna površina traheja	*	*	*	*	*	*
$k_h \cdot 10^{-6}$	*	*	*	*	n. s.	*
V_i	*	*	n. s.	*	*	*
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	n. s.	*
P pojedinačnih traheja	*	*	*	n. s.	*	*
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	*	*	*	*	n. s.	*
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	*	*	*	*	*	*
P jedne grupisane traheje	*	*	*	*	*	*
% Grupisanih traheja u ksilemu	*	*	*	*	*	*
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	*	n. s.	*	*	n. s.	*
Broj traheja u jednoj grupi	*	n. s.	*	*	*	*
V_g	*	n. s.	*	*	n. s.	*

(*): $p \leq 0,05$, (n. s.): $p > 0,05$. P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti; V_g – indeks grupisanja.

U podzemnom segmentu reznica tri genotipa vrba klon kao faktor u potpunosti je značajno uticao na anatomske karaktere. Tretman Cd 3+L nije imao značajan uticaj na proporciju periderma i parametre grupnih traheja: broj grupa traheja po mm² ksilema, broj traheja u jednoj grupi i indeks grupisanja. Interakcija klona i tretmana je imala značajno dejstvo na sve anatomske karaktere, izuzevši samo indeks osjetljivosti. Interakcija klona i tretmana Cd 6+L je značajno uticala na sve anatomske karaktere podzemnih segmenata tri istražena genotipa vrba. Uticaj klona kao faktora nije bio značajno izražen samo na odnos ksilema/sekundarni floem i površinu solitarnih traheja. Tretman Cd 6+L nije doveo do značajnih promjena ukupnog broja traheja u ksilemu, broja i proporcije solitarnih traheja. Dalje, nije značajno djelovao ni na broj grupa traheja, kao ni na vrijednosti k_h i V_g (Tabela P10.).

Tabela P11. Anatomske karaktere nadzemnog segmenta reznice *Salix alba* klon 'B-44' pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu u prisustvu limunske kiseline (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere reznice	Kontrola + L	Cd 3+L	Cd 6+L
% Periderma	1,13 \pm 0,05 (18,4) b*	1,14 \pm 0,1 (32,55) b	2,97 \pm 0,09 (11,6) a
% Primarne kore	3,82 \pm 0,26 (26,5) a	3,81 \pm 0,17 (16,8) a	4,14 \pm 0,21 (15,9) a
% Sekundarnog floema	10,4 \pm 0,27 (10,1) a	9,66 \pm 0,52 (20,7) a	10,1 \pm 0,26 (9,77) a
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	66,6 \pm 0,81 (4,71) a	66,8 \pm 1,22 (7,08) a	72,6 \pm 0,43 (2,32) a
Odnos ksilema/ sekundarni floem	6,51 \pm 0,22 (13,2) a	7,25 \pm 0,46 (24,3) a	7,24 \pm 0,21 (11,3) a
% Srži	18,0 \pm 0,79 (17,1) a	18,6 \pm 0,69 (14,3) a	9,12 \pm 0,17 (7,12) b
% Traheja u ksilemu	5,41 \pm 0,20 (14,3) a	4,84 \pm 0,24 (19,1) a	5,52 \pm 0,14 (10,2) a
Broj traheja po mm ² ksilema	140 \pm 3,14 (8,65) a	97,6 \pm 3,36 (13,3) b	136 \pm 3,33 (9,44) a
Prosječna površina traheja	827 \pm 0,17 (14,1) b	1331 \pm 23,5 (6,84) a	1229 \pm 27,2 (8,70) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,27 \pm 0,00 (25,7) b	0,48 \pm 0,00 (22,3) a	0,45 \pm 0,01 (55,2) a
V_i	0,23 \pm 0,01 (11,8) c	0,45 \pm 0,02 (14,4) a	0,30 \pm 0,01 (8,92) b
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	85,1 \pm 2,77 (12,6) b	69,0 \pm 4,27 (24,0) c	105 \pm 3,51 (12,9) a
P pojedinačnih traheja	1267 \pm 49,8 (15,2) a	1354 \pm 38,2 (10,9) a	1328 \pm 3,73 (6,92) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	3,27 \pm 0,14 (16,5) a	3,35 \pm 0,18 (20,5) a	4,25 \pm 0,14 (13,0) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	55,4 \pm 1,53 (10,7) a	28,6 \pm 1,97 (26,7) b	31,3 \pm 1,61 (9,81) b
P jedne grupisane traheje	386 \pm 26,4 (26,4) c	1309 \pm 9,59 (8,75) a	1130 \pm 52,1 (7,86) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	2,14 \pm 0,09 (16,9) a	1,69 \pm 0,18 (46,9) a	1,27 \pm 0,07 (21,3) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	30,4 \pm 1,12 (14,3) a	13,3 \pm 0,67 (19,6) b	12,7 \pm 0,73 (22,1) b
Broj traheja u jednoj grupi	1,84 \pm 0,04 (8,21) b	2,16 \pm 0,09 (15,7) a	2,48 \pm 0,06 (8,60) a
V_g	1,22 \pm 0,01 (2,70) a	1,20 \pm 0,03 (9,99) a	1,16 \pm 0,01 (3,40) a

*Srednje vrijednosti označene različitim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike između kontrole sa limunskom kiselinom i biljaka tretiranih Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$). P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti.

Tabela P12. Anatomske karaktere nadzemnog segmenta reznice *Salix viminalis* klon 'SV068' pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu u prisustvu limunske kiseline (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere reznice	Kontrola + L	Cd 3+L	Cd 6+L
% Periderma	2,53 \pm 0,09 (13,6) a*	1,16 \pm 0,10 (32,6) b	2,97 \pm 0,09 (11,6) a
% Primarne kore	5,25 \pm 0,62 (46,0) a	3,86 \pm 0,17 (16,8) b	5,14 \pm 0,21 (15,9) a
% Sekundarnog floema	9,59 \pm 0,68 (27,6) a	9,78 \pm 0,52 (20,7) a	10,1 \pm 0,26 (9,77) a
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	72,7 \pm 1,28 (6,83) a	66,9 \pm 1,22 (7,05) a	72,6 \pm 0,43 (2,32) a
Odnos ksilema/ sekundarni floem	8,29 \pm 0,73 (34,23) a	7,18 \pm 0,45 (24,3) a	7,24 \pm 0,21 (11,3) a
% Srži	9,94 \pm 0,31 (12,0) b	18,3 \pm 0,68 (14,4) a	9,12 \pm 0,17 (7,12) b
% Traheja u ksilemu	5,72 \pm 0,20 (13,3) a	4,93 \pm 0,24 (19,1) a	6,14 \pm 0,15 (9,21) a
Broj traheja po mm ² ksilema	171 \pm 2,38 (5,38) a	95,3 \pm 3,26 (13,2) c	136 \pm 2,60 (17,4) b
Prosječna površina traheja	1284 \pm 40,8 (12,3) a	1252 \pm 22,1 (6,84) a	1253 \pm 87,0 (26,9) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,51 \pm 0,02 (55,8) a	0,48 \pm 0,00 (18,0) a	0,43 \pm 0,00 (44,9) a
V_i	0,28 \pm 0,01 (12,3) a	0,16 \pm 0,02 (14,2) b	0,24 \pm 0,01 (11,5) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	146 \pm 2,08 (5,53) a	67,4 \pm 4,18 (24,0) c	105 \pm 2,90 (10,7) b
P pojedinačnih traheja	1439 \pm 30,3 (8,15) a	1320 \pm 7,29 (10,9) a	1540 \pm 65,4 (41,6) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	4,88 \pm 0,17 (13,5) a	3,41 \pm 0,18 (20,7) b	4,74 \pm 0,13 (10,7) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	25,2 \pm 0,97 (14,9) a	27,9 \pm 1,92 (26,6) a	30,9 \pm 1,73 (21,7) a
P jedne grupisane traheje	1130 \pm 78,9 (7,05) a	1277 \pm 28,8 (8,75) a	965 \pm 68,0 (27,3) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	1,44 \pm 0,04 (18,7) a	1,52 \pm 0,18 (46,7) a	1,40 \pm 0,09 (23,9) a
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	12,6 \pm 0,48 (14,6) a	13,3 \pm 0,67 (19,6) a	12,7 \pm 0,58 (17,8) a
Broj traheja u jednoj grupi	2,00 \pm 0,04 (7,26) a	2,10 \pm 0,09 (15,7) a	2,43 \pm 0,05 (8,18) a
V_g	1,08 \pm 0,01 (1,31) a	1,20 \pm 0,03 (9,79) a	1,15 \pm 0,01 (3,91) a

*Srednje vrijednosti označene različitim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike između kontrole sa limunskom kiselinom i biljaka tretiranih Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$). P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti.

Tabela P13. Anatomske karaktere nadzemnog segmenta reznice *Salix matsudana* klon 'SM4041' pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu u prisustvu limunske kiseline (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere reznice	Kontrola + L	Cd 3+L	Cd 6+L
% Periderma	1,25 \pm 0,09 (28,7) b*	1,26 \pm 0,07 (20,9) b	3,04 \pm 0,11 (14,4) a
% Primarne kore	5,06 \pm 0,24 (18,7) a	4,77 \pm 0,22 (17,7) a	4,94 \pm 0,21 (16,2) a
% Sekundarnog floema	7,34 \pm 0,32 (17,1) c	15,7 \pm 0,58 (14,2) a	10,3 \pm 0,28 (10,5) b
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	59,6 \pm 1,28 (8,31) b	56,3 \pm 1,30 (8,92) b	69,9 \pm 0,43 (2,40) a
Odnos ksilema/ sekundarni floem	8,48 \pm 0,62 (28,2) a	3,71 \pm 0,23 (23,6) c	6,89 \pm 0,27 (15,0) b
% Srži	26,8 \pm 1,13 (16,3) a	22,0 \pm 0,69 (12,1) b	11,8 \pm 0,22 (7,15) c
% Traheja u ksilemu	7,41 \pm 0,29 (15,3) a	8,20 \pm 0,50 (23,6) a	6,10 \pm 0,14 (8,74) a
Broj traheja po mm ² ksilema	155 \pm 2,10 (5,23) b	193 \pm 2,92 (5,87) a	155 \pm 2,70 (6,76) b
Prosječna površina traheja	889 \pm 22,6 (9,83) b	967 \pm 44,7 (17,9) b	1195 \pm 32,5 (10,5) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,37 \pm 0,00 (29,5) a	0,28 \pm 0,04 (50,7) a	0,31 \pm 0,02 (19,7) a
V_i	0,23 \pm 0,01 (10,6) a	0,29 \pm 0,02 (21,4) a	0,25 \pm 0,01 (10,7) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	123 \pm 1,39 (4,39) b	147 \pm 1,97 (5,20) a	123 \pm 2,38 (7,48) b
P pojedinačnih traheja	988 \pm 33,2 (13,0) a	1251 \pm 88,4 (27,4) a	1174 \pm 56,6 (18,7) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	5,86 \pm 0,21 (14,0) a	6,24 \pm 0,38 (23,5) a	4,85 \pm 0,11 (9,02) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	32,3 \pm 1,35 (16,2) b	46,1 \pm 1,65 (13,9) a	31,6 \pm 1,58 (19,3) b
P jedne grupisane traheje	789 \pm 23,5 (11,6) b	683 \pm 13,0 (7,39) b	1216 \pm 29,7 (9,46) a
% Grupisanih traheja u ksilemu	1,55 \pm 0,10 (24,1) b	1,96 \pm 0,13 (26,4) a	1,25 \pm 0,07 (21,0) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	14,8 \pm 0,55 (14,3) a	20,0 \pm 0,82 (15,9) a	12,4 \pm 0,61 (8,74) a
Broj traheja u jednoj grupi	2,18 \pm 0,05 (9,27) a	2,32 \pm 0,06 (9,88) a	2,56 \pm 0,07 (10,3) a
V_g	1,13 \pm 0,01 (2,22) a	1,16 \pm 0,01 (2,13) a	1,14 \pm 0,01 (2,81) a

*Srednje vrijednosti označene različitim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike između kontrole sa limunskom kiselinom i biljaka tretiranih Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$). P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti.

Tabela P14. Anatomske karaktere podzemnog segmenta reznice *Salix alba* klon 'B-44' pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu u prisustvu limunske kiseline (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere reznice	Kontrola + L	Cd 3+L	Cd 6+L
% Periderma	2,03 \pm 0,04 (15,0) a*	2,01 \pm 0,04 (15,7) a	2,91 \pm 0,09 (11,8) a
% Primarne kore	4,82 \pm 0,24 (19,3) b	3,29 \pm 0,15 (17,8) c	6,50 \pm 0,24 (14,5) a
% Sekundarnog floema	10,9 \pm 0,54 (19,1) a	8,64 \pm 0,21 (9,33) b	8,49 \pm 0,68 (31,1) b
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	64,3 \pm 0,89 (5,39) a	72,3 \pm 0,57 (3,08) a	64,9 \pm 1,34 (7,96) a
Odnos ksilema/ sekundarni floem	6,30 \pm 0,40 (24,9) b	8,46 \pm 0,28 (12,7) a	8,44 \pm 0,72 (33,1) a
% Srži	20,9 \pm 0,87 (16,0) a	14,7 \pm 0,32 (8,31) b	17,1 \pm 0,80 (18,0) a
% Traheja u ksilemu	10,41 \pm 0,29 (10,9) a	4,69 \pm 0,17 (13,9) c	6,78 \pm 0,25 (14,3) b
Broj traheja po mm ² ksilema	186 \pm 4,19 (8,70) a	115 \pm 2,30 (7,73) c	157 \pm 3,30 (8,14) a
Prosječna površina traheja	825 \pm 37,6 (17,7) c	1492 \pm 33,3 (8,66) a	1052 \pm 28,2 (10,4) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,56 \pm 0,05 (49,4) a	0,68 \pm 0,05 (12,6) a	0,61 \pm 0,01 (32,0) a
V_i	0,41 \pm 0,05 (43,9) a	0,49 \pm 0,01 (11,0) a	0,45 \pm 0,01 (8,88) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	121 \pm 2,65 (8,47) a	97,4 \pm 1,78 (7,07) b	119 \pm 1,90 (6,16) a
P pojedinačnih traheja	1002 \pm 65,8 (25,5) b	1655 \pm 48,8 (11,4) a	1169 \pm 34,7 (11,5) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	6,78 \pm 0,16 (9,22) a	3,96 \pm 0,13 (13,0) b	5,14 \pm 0,16 (12,1) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	65,0 \pm 3,24 (19,3) a	17,7 \pm 1,12 (24,5) c	37,7 \pm 2,03 (20,8) b
P jedne grupisane traheje	647 \pm 37,0 (22,1) c	1329 \pm 53,9 (15,7) a	936 \pm 38,5 (15,9) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	3,64 \pm 0,20 (21,6) a	0,72 \pm 0,05 (28,0) c	1,63 \pm 0,11 (26,1) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	25,4 \pm 1,60 (24,4) a	20,3 \pm 0,56 (20,9) a	18,1 \pm 0,90 (19,2) a
Broj traheja u jednoj grupi	2,64 \pm 0,03 (4,60) a	1,80 \pm 0,16 (33,4) a	2,08 \pm 0,05 (9,58) a
V_g	1,29 \pm 0,01 (3,48) a	1,07 \pm 0,01 (4,12) a	1,14 \pm 0,01 (2,98) a

*Srednje vrijednosti označene različitim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike između kontrole sa limunskom kiselinom i biljaka tretiranih Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$). P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti.

Tabela P15. Anatomske karaktere podzemnog segmenta reznice *Salix viminalis* klon 'SV068' pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu u prisustvu limunske kiseline (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere reznice	Kontrola + L	Cd 3+L	Cd 6+L
% Periderma	2,28 \pm 0,08 (14,45) b*	2,42 \pm 0,04 (11,5) b	3,05 \pm 0,07 (9,33) a
% Primarne kore	4,98 \pm 0,65 (50,6) a	3,90 \pm 0,10 (9,67) a	4,62 \pm 0,27 (10,2) a
% Sekundarnog floema	9,70 \pm 0,71 (28,3) a	10,9 \pm 0,41 (14,5) a	10,3 \pm 0,42 (2,24) a
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	73,3 \pm 1,33 (7,03) a	67,5 \pm 0,60 (3,45) a	72,8 \pm 0,22 (12,3) a
Odnos ksilema/ sekundarni floem	8,32 \pm 0,76 (35,2) a	6,34 \pm 0,29 (17,5) a	7,18 \pm 0,18 (7,70) a
% Srži	9,73 \pm 0,31 (12,5) b	16,2 \pm 0,31 (7,40) a	9,21 \pm 0,18 (7,70) b
% Traheja u ksilemu	5,72 \pm 0,21 (14,4) b	4,26 \pm 0,15 (13,6) b	7,24 \pm 0,22 (11,6) a
Broj traheja po mm ² ksilema	178 \pm 1,98 (4,31) a	112 \pm 2,33 (8,05) b	164 \pm 3,43 (8,12) a
Prosječna površina traheja	1226 \pm 34,5 (10,8) a	1312 \pm 23,1 (6,83) a	924 \pm 34,0 (14,2) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,35 \pm 0,02 (55,3) a	0,35 \pm 0,00 (18,7) a	0,27 \pm 0,01 (46,9) a
V_i	0,30 \pm 0,01 (11,2) a	0,37 \pm 0,01 (8,69) a	0,22 \pm 0,01 (11,4) b
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	150 \pm 1,81 (4,66) a	83,1 \pm 1,90 (8,84) b	120 \pm 2,94 (9,49) a
P pojedinačnih traheja	1256 \pm 35,0 (10,8) a	1333 \pm 37,7 (10,9) a	1059 \pm 68,6 (25,1) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	4,84 \pm 0,19 (15,1) a	3,17 \pm 0,13 (15,6) b	5,31 \pm 0,17 (12,1) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	27,6 \pm 1,05 (14,7) b	29,0 \pm 1,59 (21,2) b	43,5 \pm 2,28 (20,3) a
P jedne grupisane traheje	1196 \pm 33,3 (10,8) a	1291 \pm 29,2 (8,75) a	789 \pm 46,9 (23,0) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	0,89 \pm 0,04 (18,3) b	1,10 \pm 0,06 (20,5) b	1,93 \pm 0,11 (22,5) a
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	13,7 \pm 0,53 (15,1) a	13,3 \pm 0,67 (19,6) a	17,5 \pm 1,00 (22,3) a
Broj traheja u jednoj grupi	1,89 \pm 0,04 (16,3) a	2,26 \pm 0,16 (27,7) a	2,51 \pm 0,05 (7,33) a
V_g	1,08 \pm 0,00 (1,5) a	1,17 \pm 0,02 (5,96) a	1,19 \pm 0,01 (3,57) a

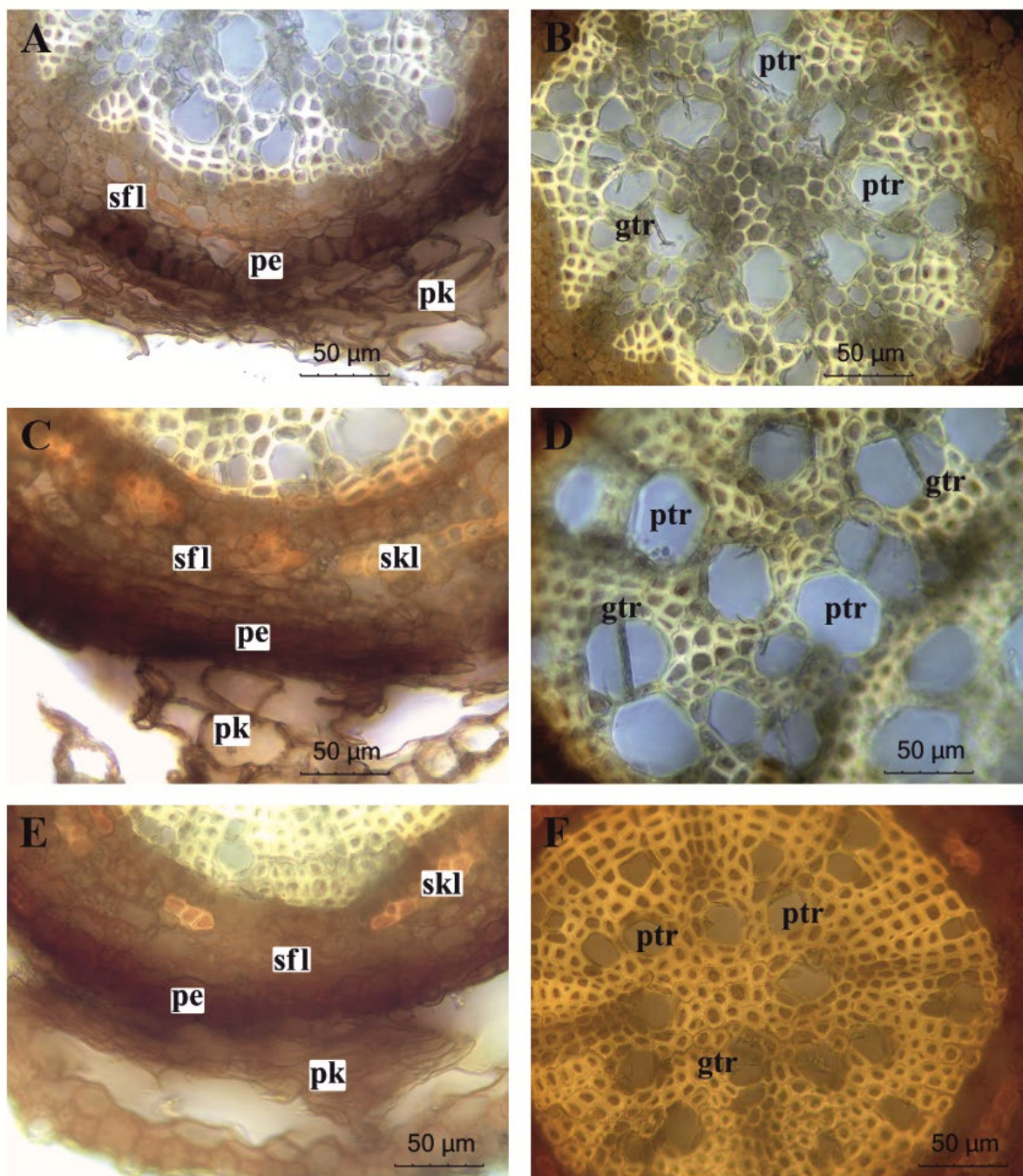
*Srednje vrijednosti označene različitim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike između kontrole sa limunskom kiselinom i biljaka tretiranih Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$). P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti.

Tabela P16. Anatomske karaktere podzemnog segmenta reznice *Salix matsudana* klon 'SM4041' pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u odnosu na kontrolu u prisustvu limunske kiseline (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere reznice	Kontrola + L	Cd 3+L	Cd 6+L
% Periderma	0,90 \pm 0,06 (24,8) b*	1,19 \pm 0,07 (21,6) b	3,20 \pm 0,12 (14,4) a
% Primarne kore	6,95 \pm 0,58 (32,2) a	3,76 \pm 0,13 (13,1) c	5,21 \pm 0,22 (16,1) b
% Sekundarnog floema	14,9 \pm 0,49 (12,7) a	12,1 \pm 0,4 (12,8) a	10,9 \pm 0,29 (10,4) a
% Ksilema (primarnog i sekundarnog)	56,5 \pm 1,20 (8,24) b	72,3 \pm 0,91 (4,88) a	73,8 \pm 0,46 (2,40) a
Odnos ksilema/ sekundarni floem	6,78 \pm 0,22 (12,7) a	6,11 \pm 0,29 (18,1) a	7,27 \pm 0,28 (15,0) a
% Srži	27,2 \pm 0,97 (13,8) a	10,7 \pm 0,44 (16,1) c	12,4 \pm 0,23 (7,15) b
% Traheja u ksilemu	6,94 \pm 0,37 (20,9) a	7,60 \pm 0,36 (18,4) a	6,43 \pm 0,15 (8,74) a
Broj traheja po mm ² ksilema	134 \pm 2,73 (7,92) b	204 \pm 1,70 (3,23) a	163 \pm 2,85 (6,76) a
Prosječna površina traheja	758 \pm 35,1 (17,9) b	1372 \pm 47,6 (13,4) a	1260 \pm 34,3 (10,5) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,30 \pm 0,00 (45,5) a	0,27 \pm 0,03 (41,3) a	0,32 \pm 0,02 (20,0) a
V_i	0,25 \pm 0,01 (11,7) a	0,23 \pm 0,01 (9,90) a	0,26 \pm 0,01 (11,5) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	128 \pm 2,58 (9,26) b	154 \pm 2,58 (6,48) a	130 \pm 2,51 (7,48) b
P pojedinačnih traheja	846 \pm 43,6 (20,0) b	1301 \pm 92,6 (27,6) a	1238 \pm 59,7 (18,7) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	5,58 \pm 0,28 (19,2) a	5,74 \pm 0,30 (20,1) a	5,12 \pm 0,12 (9,04) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	25,6 \pm 1,47 (22,3) c	50,3 \pm 2,39 (18,4) a	33,5 \pm 1,68 (19,4) b
P jedne grupisane traheje	671 \pm 53,2 (30,7) c	1444 \pm 59,4 (15,9) a	1282 \pm 31,3 (9,46) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	1,36 \pm 0,12 (35,1) b	1,85 \pm 0,10 (21,2) a	1,31 \pm 0,07 (20,9) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	10,7 \pm 0,45 (16,5) a	12,1 \pm 0,81 (14,2) a	13,3 \pm 0,63 (18,3) a
Broj traheja u jednoj grupi	2,43 \pm 0,14 (22,1) a	2,27 \pm 0,06 (10,6) a	2,70 \pm 0,07 (10,3) a
V_g	1,13 \pm 0,01 (4,47) a	1,16 \pm 0,01 (4,28) a	1,20 \pm 0,01 (2,82) a

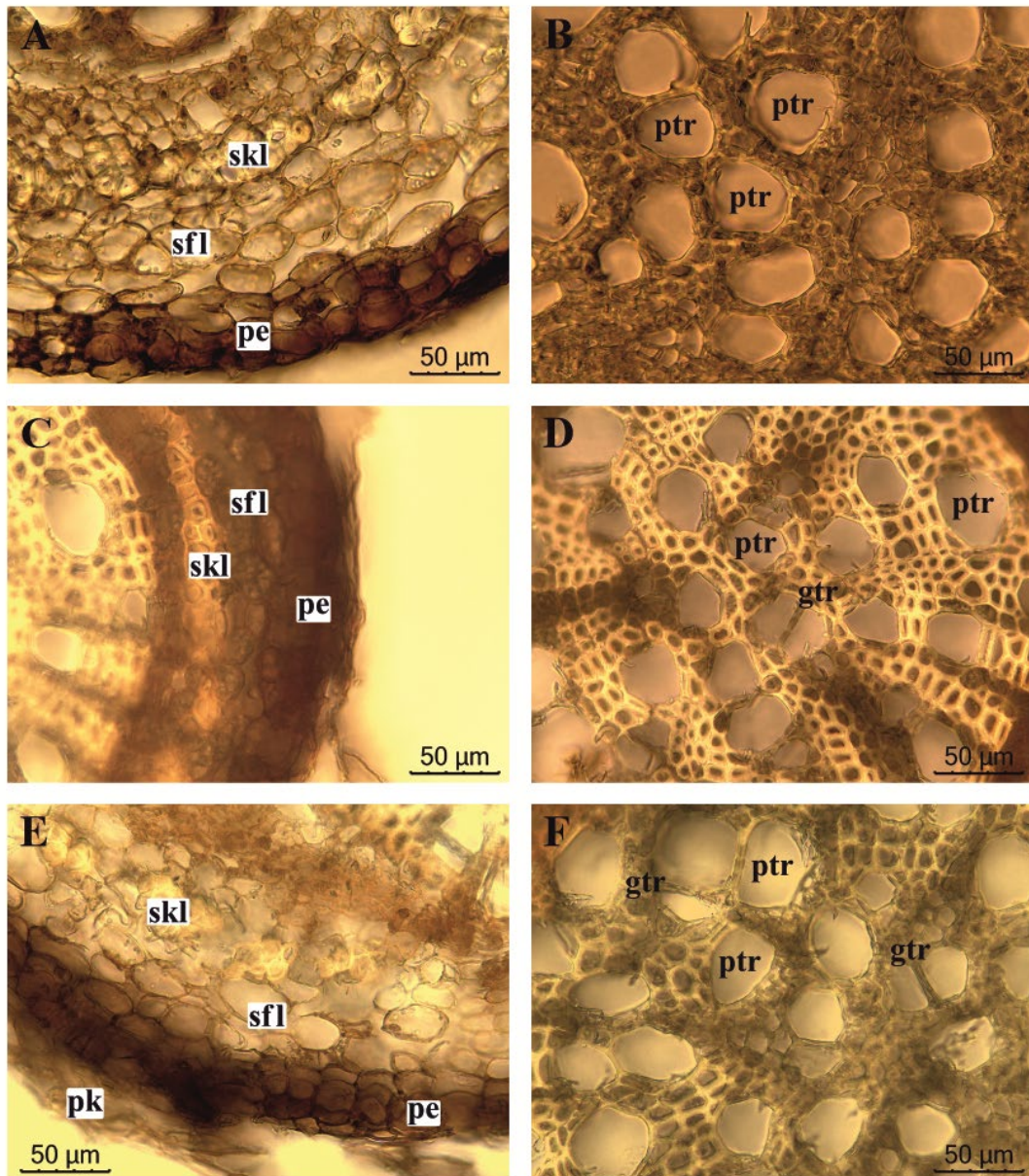
*Srednje vrijednosti označene različitim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike između kontrole sa limunskom kiselinom i biljaka tretiranih Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$). P – površina; k_h – teoretska hidraulička provodljivost; V_i – indeks osjetljivosti.

9.4. Analiza anatomskih karaktera adventivnih korijenova klonova vrba

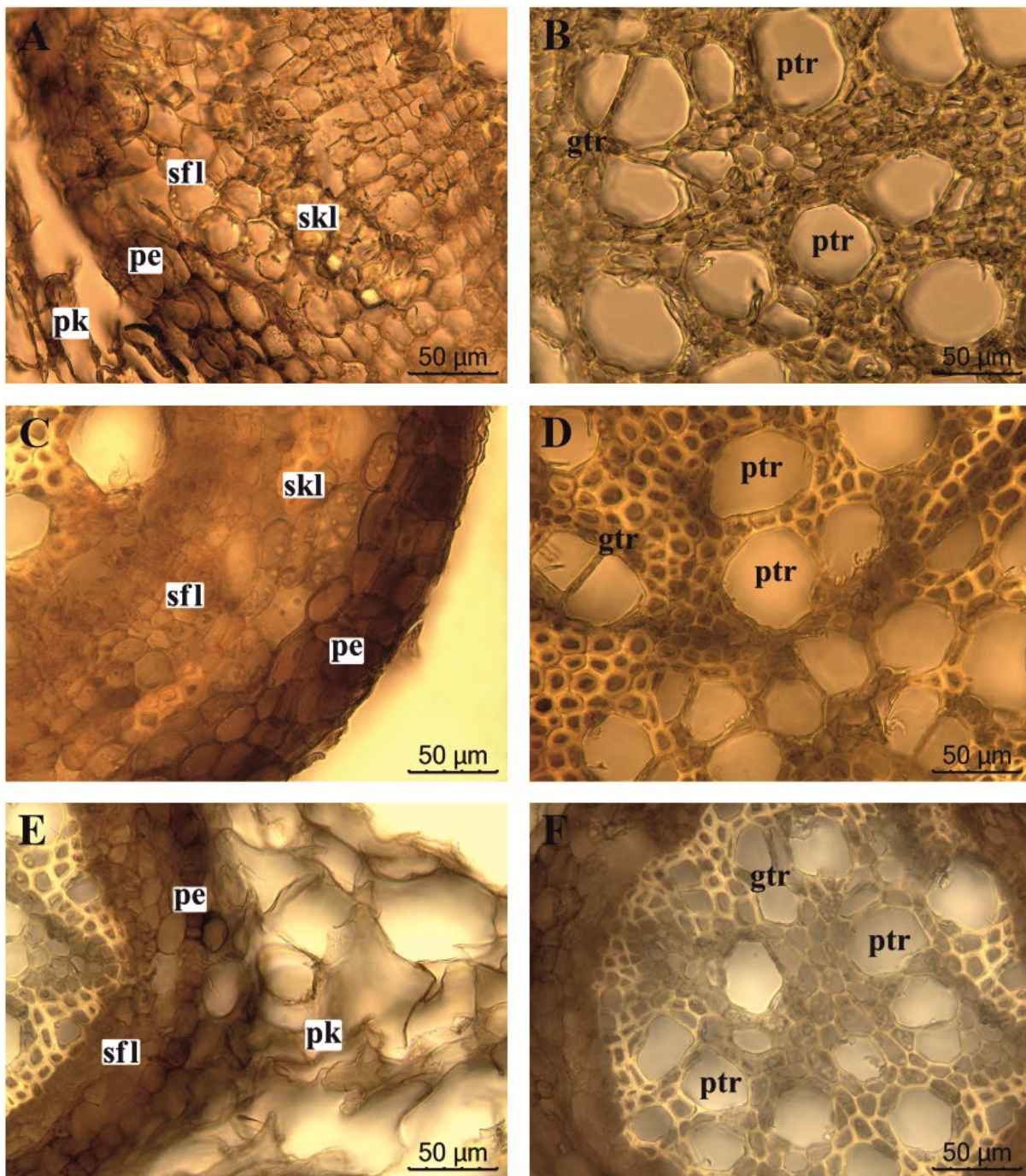


Slika P6. Poprečni presjek adventivnih korijena tri klona *Salix* spp., kontrolnih biljaka gajenih u prisustvu limunske kiseline: A, B - *Salix alba* klon 'B-44'; C, D - *Salix viminalis* klon 'SV068'; E, F - *Salix matsudana* klon 'SM4041'. pk – ostaci primarne kore; pe – periderm; sfl – sekundarni floem; skl – sklerifikovane ćelije; ptr – pojedinačne traheje; gtr – grupisane traheje.

9.5. Uticaj Cd na anatomske parametre adventivnih korijena klonova vrba



Slika P7. Poprečni presjek adventivnih korijena tri klona *Salix* spp. gajenih pod uticajem Cd 3: A, B - *Salix alba* klon 'B-44'; C, D - *Salix viminalis* klon 'SV068'; E, F - *Salix matsudana* klon 'SM4041'. pk – ostaci primarne kore; pe – periderm; sfl – sekundarni floem; skl – sklerifikovane ćelije; ptr – pojedinačne traheje; gtr – grupisane traheje.



Slika P8. Poprečni presjek adventivnih korijena tri klonova *Salix* spp. gajenih pod uticajem Cd 6: A, B - *Salix alba* klon 'B-44'; C, D - *Salix viminalis* klon 'SV068'; E, F - *Salix matsudana* klon 'SM4041'. pk - ostaci primarne kore; pe - periderm; sfl - sekundarni floem; skl - sklerifikovane ćelije; ptr - pojedinačne traheje; gtr - grupisane traheje.

Tabela P17. Rezultati F testa trofaktorijalne analize varijanse (ANOVA) za anatomske karaktere adventivnih korijena tri klona vrba

Anatomske karaktere	Izvor varijacija						
	Klon	Tretman	Faza uzorkovanja	Klon × Tretman	Klon × Faza uzorkovanja	Tretman × Faza uzorkovanja	Klon × Tretman × Faza uzorkovanja
	df	2	3	2	6	4	6
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	5,8*	1,3 ^{NS}	149,0*	1,1 ^{NS}	7,1*	2,0 ^{NS}	0,6 ^{NS}
D poprečnog presjeka (μm)	9,7*	0,9 ^{NS}	191,7*	2,2*	5,7*	1,4 ^{NS}	0,8 ^{NS}
% Periderma	7,0*	0,3 ^{NS}	3,7*	2,3*	3,5*	1,9 ^{NS}	3,3*
% Sekundarnog korteksa (floema)	23,3*	0,7 ^{NS}	73,1*	0,4 ^{NS}	6,7*	1,2 ^{NS}	2,6*
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	16,5*	1,6 ^{NS}	219,0*	1,4 ^{NS}	9,2*	3,9*	2,2*
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	33,5*	2,1 ^{NS}	6,7*	0,9 ^{NS}	2,0 ^{NS}	1,3 ^{NS}	1,6 ^{NS}
Odnos drvo/kora	36,4*	0,1 ^{NS}	26,4*	1,3 ^{NS}	1,4 ^{NS}	1,8 ^{NS}	4,3*
GT (N/mm ²)	2,2 ^{NS}	0,4 ^{NS}	172,1*	1,1 ^{NS}	0,8 ^{NS}	0,3 ^{NS}	2,2*
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	16,5*	0,2 ^{NS}	131,0*	2,5*	5,7*	2,0 ^{NS}	1,9*
Relativni LT (%)	7,1*	1,2 ^{NS}	6,9*	1,5 ^{NS}	2,4 ^{NS}	3,6*	1,6 ^{NS}
Individualni LT (μm^2)	54,5*	0,8 ^{NS}	77,5*	8,0*	7,9*	3,7*	1,4 ^{NS}
Individualni DT (μm)	63,8*	1,1 ^{NS}	81,5*	8,1*	4,8*	2,3*	4,3*
% Traheja u I grupi	35,8*	11,8*	60,6*	7,3*	4,0*	2,3*	5,5*
% Traheja u II grupi	7,2*	2,4 ^{NS}	24,5*	2,9*	10,4*	4,3*	11,1*
% Traheja u III grupi	45,7*	4,0*	30,1*	7,4*	8,9*	4,7*	4,4*
$k_h \cdot 10^{-6}$	4,9*	77,8*	11,4*	23,9*	48,8*	19,4*	53,6*
V_i	4,5*	6,2*	8,2*	3,0*	6,1*	4,7*	5,7*

Nezavisni faktori su klon ('B-44', 'SV068', 'SM4041'), tretman (Cd 3, Cd 6, Cd 3+L, Cd 6+L) i faza uzorkovanja (juni, avgust i septembar); df –stepeni slobode. Legenda za nivo značajnosti: NS – nije značajan uticaj ($p > 0,05$); (*) – značajan uticaj za $p \leq 0,05$.

Tabela P18. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova *Salix alba* klon 'B-44' (I uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6 u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike korijena	Kontrola	Cd 3 (I)	Cd 6 (I)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	6,06 ± 1,83 (67,6) b*	10,1 ± 1,61 (39,2) a	10,2 ± 2,46 (53,7) a
D poprečnog presjeka (μm)	850 ± 13,4 (35,3) b	1078 ± 91,5 (20,8) a	1090 ± 16,6 (34,0) a
% Periderma	3,51 ± 0,53 (35,3) b	3,93 ± 0,42 (26,3) a	3,89 ± 0,41 (23,5) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	19,2 ± 3,01 (35,0) b	29,3 ± 3,03 (25,3) a	30,6 ± 6,46 (47,2) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	172 ± 32,7 (42,4) c	500 ± 67,6 (33,1) a	414 ± 64,4 (34,8) b
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	32,0 ± 3,20 (22,4) b	35,5 ± 1,30 (9,00) a	30,2 ± 2,22 (16,4) b
Odnos drvo/kora	1,74 ± 0,12 (15,9) a	1,26 ± 0,14 (27,1) a	1,23 ± 0,20 (36,8) a
GT (N/mm^2)	81,0 ± 19,7 (54,8) a	65,3 ± 9,13 (34,2) b	63,2 ± 12,9 (45,7) b
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	6,31 ± 2,55 (90,5) b	9,27 ± 2,06 (54,6) a	10,8 ± 2,90 (59,6) a
Relativni LT (%)	29,1 ± 2,06 (15,8) b	24,9 ± 2,74 (27,0) c	34,0 ± 2,42 (15,9) a
Individualni LT (μm)	780 ± 25,7 (45,4) b	1329 ± 17,9 (33,0) a	1588 ± 18,7 (26,4) a
Individualni DT (μm)	29,9 ± 0,50 (22,6) b	39,3 ± 3,00 (18,4) a	43,4 ± 2,62 (13,5) a
% I grupa	22,0 ± 7,05 (71,7) a	4,58 ± 3,46 (18,5) b	0,60 ± 0,57 (22,4) c
% II grupa	66,8 ± 3,63 (12,1) a	50,9 ± 7,14 (34,4) b	42,3 ± 8,08 (42,7) b
% III grupa	11,2 ± 6,60 (13,3) b	44,5 ± 10,0 (55,1) a	57,1 ± 8,56 (33,5) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	2,80 ± 1,46 (11,6) c	7,00 ± 2,08 (73,0) b	9,26 ± 3,00 (72,2) a
V_i	0,38 ± 0,04 (27,8) b	0,65 ± 0,06 (23,7) a	0,81 ± 0,16 (43,5) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (t test, $p \leq 0,05$).

Tabela P19. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova *Salix viminalis* klon 'SV068' (I uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6 u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike korijena	Kontrola	Cd 3 (I)	Cd 6 (I)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	1,82 ± 0,09 (11,3) b	1,63 ± 0,38 (51,9) c	4,19 ± 0,86 (57,1) a
D poprečnog presjeka (μm)	478 ± 60,4 (34,7) b	448 ± 64,5 (32,2) b	546 ± 71,5 (32,7) a
% Periderma	4,64 ± 0,32 (15,6) a	4,60 ± 0,93 (45,2) a	5,05 ± 0,52 (22,8) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	20,9 ± 2,26 (24,1) b	13,7 ± 4,37 (71,4) c	34,7 ± 5,70 (36,7) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	293 ± 13,6 (32,8) b	174 ± 19,9 (60,7) c	339 ± 24,4 (55,7) a
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	34,0 ± 2,40 (15,7) a	25,2 ± 5,37 (5,37) b	31,5 ± 3,05 (21,7) b
Odnos drvo/kora	1,70 ± 0,19 (25,7) a	2,32 ± 0,60 (58,0) a	1,06 ± 0,27 (56,5) a
GT (N/mm^2)	42,8 ± 5,21 (27,2) a	19,8 ± 3,75 (42,3) c	36,8 ± 3,30 (20,0) b
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	1,32 ± 0,17 (28,9) b	0,81 ± 0,24 (66,2) c	3,84 ± 0,68 (39,4) a
Relativni LT (%)	20,9 ± 1,66 (17,7) b	21,2 ± 3,66 (38,6) b	29,6 ± 1,63 (12,3) a
Individualni LT (μm)	308 ± 12,2 (28,2) b	394 ± 18,0 (20,0) a	434 ± 11,2 (26,7) a
Individualni DT (μm)	18,9 ± 0,40 (15,3) b	25,8 ± 3,10 (33,4) a	34,9 ± 2,09 (13,4) a
% I grupa	54,0 ± 9,33 (38,7) a	48,6 ± 13,2 (60,8) b	8,37 ± 3,24 (86,5) c
% II grupa	46,0 ± 9,34 (45,3) b	50,7 ± 13,0 (57,5) a	63,4 ± 6,43 (22,6) a
% III grupa	0,00 ± 0,00 (0,00) c	0,62 ± 0,62 (22,4) b	28,2 ± 8,94 (71,0) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	2,15 ± 0,55 (46,8) a	1,92 ± 0,62 (74,6) a	2,09 ± 0,81 (63,0) a
V_i	0,47 ± 0,06 (26,6) c	1,19 ± 0,32 (60,6) a	0,97 ± 0,09 (21,3) b

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (t test, $p \leq 0,05$).

Tabela P20. Anatomske karaktere adventivnih korijenova *Salix matsudana* klon 'SM4041' (I uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6 u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere korijena	Kontrola	Cd 3 (I)	Cd 6 (I)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	3,91 ± 0,75 (42,9) b	7,43 ± 1,72 (51,8) a	5,42 ± 1,36 (56,2) a
D poprečnog presjeka (μm)	684 ± 65,4 (21,4) b	949 ± 10,2 (23,9) a	832 ± 10,2 (27,4) a
% Periderma	5,42 ± 0,44 (18,0) a	5,55 ± 0,63 (25,5) a	3,42 ± 0,41 (27,1) b
% Sekundarnog korteksa (floema)	33,2 ± 5,18 (34,8) b	42,6 ± 5,95 (36,2) a	24,8 ± 3,88 (30,2) c
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	244 ± 57,4 (52,7) b	298 ± 49,6 (37,2) a	212 ± 49,6 (52,4) c
% Drveta (primarni i sekundarni ksilem)	21,7 ± 1,69 (17,4) b	26,3 ± 0,74 (6,25) a	19,3 ± 2,33 (26,9) c
Odnos drvo/kora	0,71 ± 0,11 (35,2) a	0,72 ± 0,12 (37,2) a	1,15 ± 0,28 (54,0) a
GT (N/mm ²)	41,6 ± 7,68 (41,3) b	57,2 ± 11,5 (44,9) a	40,2 ± 6,61 (36,7) b
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	2,38 ± 0,70 (64,8) b	3,93 ± 0,85 (48,2) a	1,74 ± 0,37 (48,3) c
Relativni LT (%)	27,2 ± 1,75 (14,4) a	20,6 ± 2,42 (26,2) b	17,7 ± 2,35 (29,5) b
Individualni LT (μm)	573 ± 31,4 (50,4) b	687 ± 40,0 (13,2) a	433 ± 57,6 (30,3) c
Individualni DT (μm)	24,9 ± 0,72 (29,0) b	28,6 ± 0,82 (6,45) a	22,0 ± 1,68 (17,4) c
% I grupa	29,4 ± 16,5 (12,6) a	9,98 ± 2,95 (66,1) b	9,93 ± 10,9 (49,5) b
% II grupa	62,1 ± 14,9 (53,7) b	84,3 ± 1,97 (45,2) a	85,5 ± 10,1 (47,8) a
% III grupa	8,57 ± 6,76 (17,6) a	5,68 ± 1,88 (74,1) b	5,28 ± 1,51 (10,5) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	8,77 ± 0,44 (11,2) a	4,59 ± 0,35 (56,9) b	1,37 ± 0,10 (50,5) c
V_i	0,74 ± 0,15 (44,0) a	0,60 ± 0,13 (47,8) b	0,58 ± 0,07 (27,7) c

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (*t* test, $p \leq 0,05$).

Tabela P21. Anatomske karaktere adventivnih korijenova *Salix alba* klon 'B-44' (II uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6 u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere korijena	Kontrola	Cd 3 (II)	Cd 6 (II)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	7,59 ± 1,12 (55,4) a*	6,84 ± 0,86 (50,3) a	6,49 ± 0,70 (43,5) a
D poprečnog presjeka (μm)	938 ± 68,5 (27,3) a	909 ± 56,1 (24,7) a	850 ± 47,7 (22,4) a
% Periderma	4,63 ± 0,31 (25,1) a	4,53 ± 0,34 (30,5) a	4,21 ± 0,34 (32,0) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	26,2 ± 4,02 (57,4) a	23,4 ± 3,25 (55,6) a	21,7 ± 2,71 (49,9) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	360 ± 50,0 (51,9) a	261 ± 32,2 (49,4) a	247 ± 34,9 (56,5) a
% Drveta (primarni i sekundarni ksilem)	27,0 ± 2,45 (34,0) a	26,5 ± 2,48 (37,4) a	24,9 ± 2,56 (41,0) a
Odnos drvo/kora	1,25 ± 0,13 (37,7) a	1,24 ± 0,08 (26,2) a	1,24 ± 0,08 (26,1) a
GT (N/mm ²)	61,6 ± 5,13 (31,2) a	42,7 ± 4,77 (44,7) b	48,0 ± 5,53 (46,1) b
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	4,04 ± 0,72 (66,5) a	3,66 ± 3,66 (98,6) a	3,11 ± 0,65 (83,6) a
Relativni LT (%)	24,5 ± 6,32 (96,6) a	18,7 ± 0,95 (20,2) a	18,6 ± 0,91 (19,5) a
Individualni LT (μm)	641 ± 82,0 (47,8) a	724 ± 60,3 (33,3) a	586 ± 49,5 (33,7) a
Individualni DT (μm)	26,5 ± 1,62 (22,9) a	28,9 ± 1,17 (16,1) a	25,9 ± 1,09 (16,8) a
% I grupa	31,0 ± 4,54 (54,8) a	14,7 ± 2,56 (69,7) b	25,0 ± 4,00 (63,9) a
% II grupa	58,6 ± 3,50 (22,3) b	71,3 ± 2,75 (15,4) a	67,6 ± 2,97 (17,5) a
% III grupa	10,3 ± 3,64 (13,2) b	14,0 ± 3,63 (13,9) a	7,37 ± 2,19 (11,9) c
$k_h \cdot 10^{-6}$	1,81 ± 0,66 (13,7) a	1,47 ± 0,41 (0,41) a	1,19 ± 0,39 (13,4) a
V_i	0,48 ± 0,05 (39,1) b	0,80 ± 0,10 (48,8) a	0,60 ± 0,04 (26,7) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (*t* test, $p \leq 0,05$).

Tabela P22. Anatomske karaktere adventivnih korijenova *Salix viminalis* klon 'SV068' (II uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6 u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere korijena	Kontrola	Cd 3 (II)	Cd 6 (II)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	5,03 ± 1,23 (10,1) a*	2,94 ± 0,19 (26,8) b	4,49 ± 0,76 (63,5) a
D poprečnog presjeka (μm)	725 ± 73,5 (41,8) a	611 ± 20,3 (13,7) b	705 ± 59,8 (31,7) a
% Periderma	4,46 ± 0,29 (27,2) a	3,70 ± 0,24 (27,1) a	4,54 ± 0,30 (25,1) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	23,7 ± 2,92 (50,9) ab	30,0 ± 3,67 (50,4) a	15,4 ± 2,42 (58,9) b
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	222 ± 41,0 (76,2) a	167 ± 32,7 (65,1) a	212 ± 74,6 (13,2) a
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	27,4 ± 2,46 (37,0) a	28,0 ± 2,91 (42,9) a	25,6 ± 3,73 (54,5) a
Odnos drvo/kora	1,31 ± 0,12 (37,0) b	1,05 ± 0,10 (39,7) b	1,79 ± 0,22 (45,1) a
GT (N/mm^2)	41,4 ± 5,61 (55,8) a	44,4 ± 5,41 (50,2) a	35,6 ± 5,44 (57,2) a
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	2,40 ± 0,64 (11,0) a	1,73 ± 0,25 (60,1) a	2,43 ± 0,66 (98,2) a
Relativni LT (%)	18,2 ± 1,01 (22,7) a	20,2 ± 1,35 (27,4) a	21,4 ± 1,64 (28,7) a
Individualni LT (μm)	519 ± 65,9 (52,4) a	376 ± 35,0 (38,3) b	591 ± 75,4 (47,8) a
Individualni DT (μm)	23,7 ± 1,53 (26,5) a	20,4 ± 0,86 (17,3) a	25,0 ± 1,61 (24,1) a
% I grupa	40,3 ± 5,72 (58,6) b	56,0 ± 4,20 (31,3) a	42,0 ± 5,32 (51,0) b
% II grupa	55,6 ± 4,92 (36,5) a	41,0 ± 3,59 (36,1) b	50,0 ± 3,73 (27,9) ab
% III grupa	4,16 ± 3,73 (27,9) b	3,03 ± 1,78 (24,2) b	8,00 ± 3,68 (12,6) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,89 ± 0,34 (15,6) a	0,44 ± 0,10 (13,1) b	1,15 ± 0,50 (16,3) a
V_i	0,71 ± 0,11 (64,5) ab	0,56 ± 0,06 (45,7) b	0,84 ± 0,09 (39,8) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (t test, $p \leq 0,05$).

Tabela P23. Anatomske karaktere adventivnih korijenova *Salix matsudana* klon 'SM4041' (II uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6 u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere korijena	Kontrola	Cd 3 (II)	Cd 6 (II)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	4,93 ± 0,59 (46,8) b	4,76 ± 0,42 (33,0) b	6,03 ± 0,99 (66,1) a
D poprečnog presjeka (μm)	792 ± 47,2 (23,1) a	782 ± 39,5 (18,9) a	826 ± 71,3 (34,5) a
% Periderma	4,21 ± 4,21 (22,4) b	3,98 ± 0,29 (27,5) b	5,27 ± 0,27 (20,5) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	24,5 ± 3,82 (60,3) a	25,3 ± 3,31 (48,9) a	29,3 ± 4,94 (67,3) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	252 ± 48,9 (75,0) b	309 ± 50,5 (61,2) b	360 ± 73,1 (81,3) a
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	19,4 ± 1,59 (31,7) a	23,2 ± 2,75 (44,4) a	19,3 ± 1,86 (38,5) a
Odnos drvo/kora	1,01 ± 0,11 (44,1) a	1,09 ± 0,14 (49,3) a	0,98 ± 0,15 (59,4) a
GT (N/mm^2)	33,1 ± 3,48 (40,7) b	41,4 ± 4,13 (37,3) ab	49,9 ± 7,42 (59,5) a
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	1,27 ± 0,22 (68,5) b	1,57 ± 0,20 (46,7) ab	2,01 ± 0,28 (56,4) a
Relativni LT (%)	13,1 ± 0,91 (26,4) a	16,8 ± 1,68 (37,4) a	20,4 ± 2,32 (45,5) a
Individualni LT (μm)	365 ± 40,5 (42,9) a	380 ± 24,3 (23,9) a	406 ± 38,7 (38,1) a
Individualni DT (μm)	20,3 ± 1,04 (19,9) a	20,5 ± 0,65 (11,8) a	21,3 ± 1,02 (19,1) a
% I grupa	55,5 ± 5,89 (41,1) a	57,2 ± 3,91 (25,5) a	51,5 ± 6,05 (47,0) a
% II grupa	43,2 ± 5,30 (47,5) a	40,2 ± 3,94 (36,6) a	45,5 ± 5,47 (48,0) a
% III grupa	1,30 ± 1,04 (30,1) b	2,61 ± 0,94 (15,3) a	3,01 ± 1,39 (18,5) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,63 ± 0,90 (51,9) b	0,79 ± 0,70 (66,4) ab	1,01 ± 0,81 (65,0) a
V_i	0,68 ± 0,06 (31,7) a	0,56 ± 0,06 (40,1) b	0,59 ± 0,08 (55,4) ab

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (t test, $p \leq 0,05$).

Tabela P24. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova *Salix alba* klon 'B-44' (III uzorak) pod utjecajem Cd 3 i Cd 6 u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike korijena	Kontrola	Cd 3 (III)	Cd 6 (III)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	14,0 ± 3,01 (64,3) a*	16,1 ± 1,57 (27,6) a	12,9 ± 2,88 (63,1) a
D poprečnog presjeka (μm)	1254 ± 13,1 (63,1) a	1388 ± 65,6 (13,4) a	1274 ± 14,7 (35,2) a
% Periderma	4,43 ± 0,36 (24,5) a	4,46 ± 0,32 (20,2) a	4,54 ± 0,35 (21,5) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	35,5 ± 4,11 (34,7) a	31,8 ± 3,36 (29,9) a	30,2 ± 4,21 (39,5) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	740 ± 54,3 (64,1) a	769 ± 39,0 (38,0) a	743 ± 35,7 (32,7) a
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	33,0 ± 1,46 (13,3) a	28,9 ± 3,60 (35,2) a	33,2 ± 3,62 (30,8) a
Odnos drvo/kora	1,08 ± 0,17 (46,9) a	1,04 ± 0,10 (27,4) a	1,20 ± 0,27 (62,6) a
GT (N/mm ²)	86,4 ± 10,4 (36,1) a	95,1 ± 13,3 (39,5) a	90,0 ± 15,2 (47,8) a
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	9,22 ± 1,88 (61,0) a	11,5 ± 2,02 (49,6) a	9,51 ± 2,60 (77,0) a
Relativni LT (%)	20,8 ± 1,07 (15,5) a	24,5 ± 1,50 (17,3) a	20,5 ± 2,25 (31,1) a
Individualni LT (μm)	996 ± 24,8 (37,3) a	1145 ± 25,0 (17,3) a	923 ± 26,0 (38,9) a
Individualni DT (μm)	33,8 ± 0,40 (18,3) a	32,3 ± 0,39 (8,93) a	36,7 ± 0,44 (20,6) a
% I grupa	7,81 ± 0,07 (84,1) b	4,28 ± 0,07 (74,1) c	12,7 ± 0,07 (10,4) a
% II grupa	65,1 ± 0,03 (28,0) a	61,0 ± 0,06 (20,2) a	62,3 ± 0,04 (19,7) a
% III grupa	27,0 ± 0,05 (83,7) a	34,7 ± 0,12 (83,3) a	25,0 ± 0,13 (75,8) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	5,54 ± 1,74 (94,0) a	7,34 ± 1,60 (61,5) a	5,72 ± 2,16 (10,6) a
V_i	0,44 ± 0,06 (40,6) a	0,46 ± 0,09 (54,1) a	0,42 ± 0,06 (41,4) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (t test, $p \leq 0,05$).

Tabela P25. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova *Salix viminalis* klon 'SV068' (III uzorak) pod utjecajem Cd 3 i Cd 6 u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike korijena	Kontrola	Cd 3 (III)	Cd 6 (III)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	21,5 ± 4,54 (59,7) a	13,3 ± 2,44 (57,8) a	17,9 ± 3,37 (59,5) a
D poprečnog presjeka (μm)	1538 ± 19,9 (36,6) a	1211 ± 12,3 (32,2) b	1424 ± 14,7 (32,7) a
% Periderma	4,85 ± 0,38 (22,1) a	5,54 ± 0,35 (19,8) a	4,92 ± 0,33 (21,0) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	36,8 ± 2,62 (20,1) a	35,5 ± 2,04 (18,1) a	31,6 ± 3,56 (35,6) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	1095 ± 18,9 (48,9) a	626 ± 93,1 (47,0) b	833 ± 14,0 (53,0) b
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	33,7 ± 2,15 (18,0) a	31,5 ± 1,02 (10,3) a	31,5 ± 2,42 (24,3) a
Odnos drvo/kora	0,96 ± 0,11 (33,1) a	0,91 ± 0,05 (18,2) a	1,10 ± 0,13 (36,3) a
GT (N/mm ²)	111 ± 19,2 (49,1) a	97,4 ± 13,9 (45,3) b	103 ± 20,2 (62,2) ab
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	14,2 ± 3,97 (79,2) a	7,37 ± 1,33 (57,2) b	10,8 ± 2,60 (76,4) a
Relativni LT (%)	17,8 ± 1,48 (23,5) a	18,6 ± 1,24 (21,0) a	17,9 ± 1,30 (22,8) a
Individualni LT (μm)	1098 ± 30,4 (49,3) a	757 ± 15,5 (29,4) b	1009 ± 27,9 (51,0) a
Individualni DT (μm)	34,8 ± 0,45 (25,7) a	29,5 ± 0,31 (16,9) a	33,4 ± 0,42 (24,4) a
% I grupa	13,6 ± 5,08 (10,6) a	17,6 ± 6,78 (12,2) a	15,6 ± 4,74 (95,8) a
% II grupa	53,0 ± 6,36 (34,0) b	68,0 ± 4,97 (23,1) a	58,2 ± 4,80 (26,1) ab
% III grupa	33,4 ± 9,51 (80,5) a	14,3 ± 2,70 (59,4) b	26,2 ± 7,32 (88,4) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	10,8 ± 4,18 (10,9) a	3,12 ± 0,71 (71,6) b	7,73 ± 2,92 (12,0) a
V_i	0,40 ± 0,08 (58,9) a	0,40 ± 0,08 (67,6) a	0,45 ± 0,08 (60,2) a

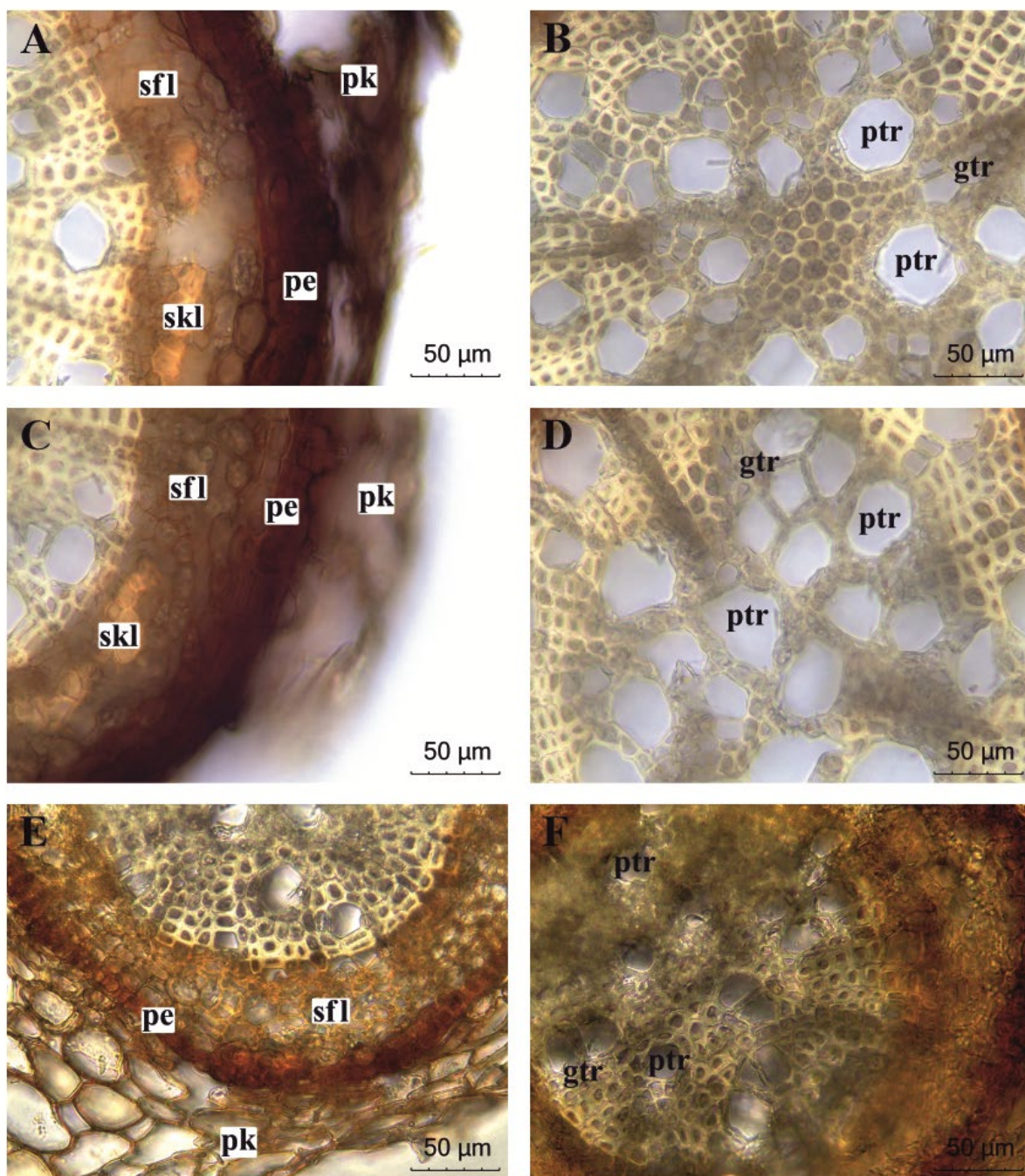
*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (t test, $p \leq 0,05$).

Tabela P26. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova *Salix matsudana* klon 'SM4041' (III uzorak) pod utjecajem Cd 3 i Cd 6 u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost \pm standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

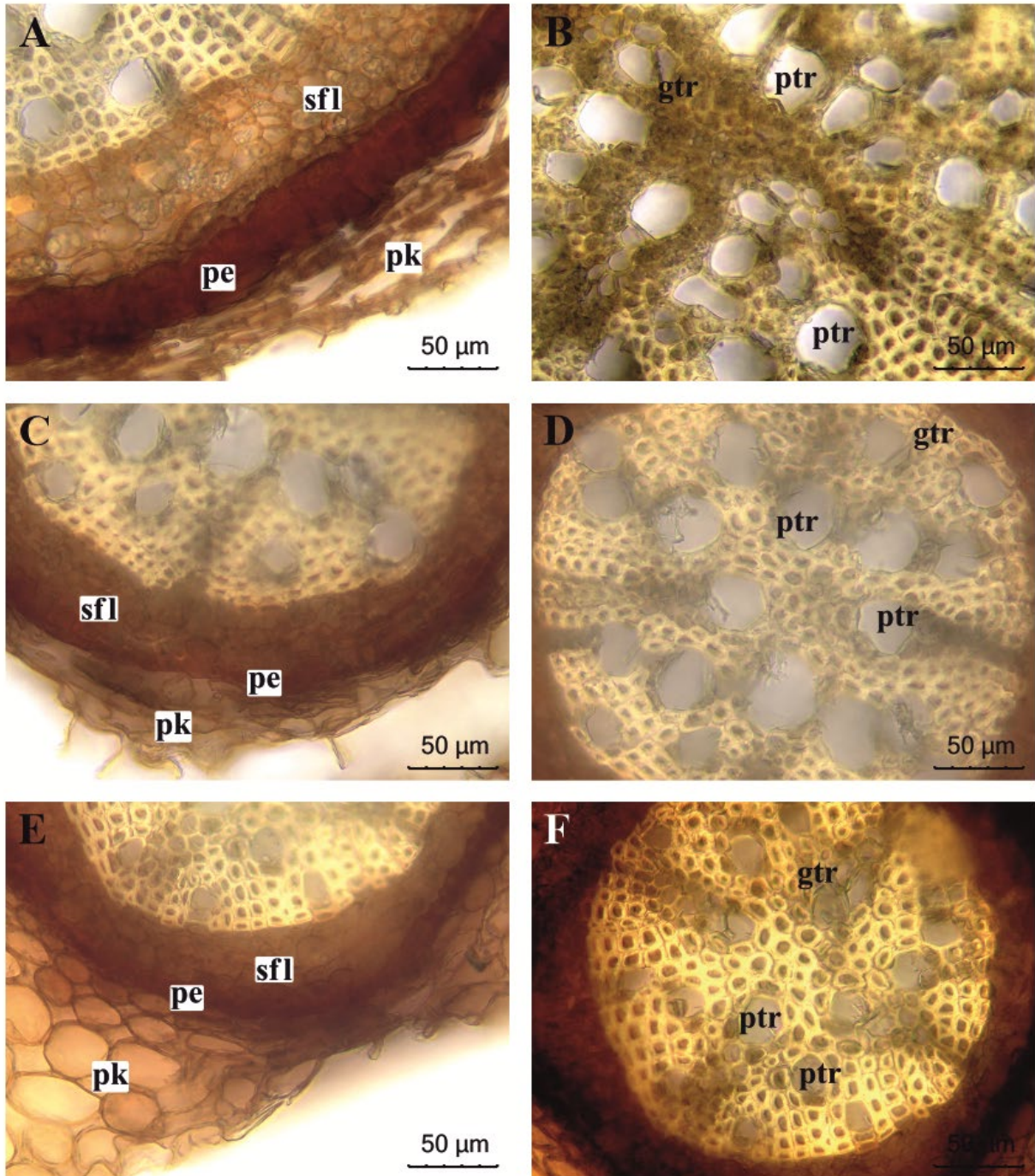
Anatomske karakteristike korijena	Kontrola	Cd 3 (III)	Cd 6 (III)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	30,3 \pm 6,84 (67,7) a	25,7 \pm 3,73 (41,0) a	29,4 \pm 5,50 (52,7) a
D poprečnog presjeka (μm)	1875 \pm 19,4 (31,1) a	1771 \pm 12,9 (20,5) a	1859 \pm 18,9 (28,8) a
% Periderma	5,13 \pm 0,34 (20,1) a	4,98 \pm 0,22 (12,5) a	4,83 \pm 0,23 (13,6) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	58,2 \pm 2,19 (11,3) a	57,9 \pm 2,60 (12,6) a	59,5 \pm 1,21 (5,70) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	883 \pm 27,3 (35,9) a	672 \pm 24,5 (40,0) b	752 \pm 29,4 (40,6) ab
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	17,9 \pm 1,20 (20,2) a	17,4 \pm 1,07 (17,5) a	18,0 \pm 0,77 (12,1) a
Odnos drvo/kora	0,31 \pm 0,03 (29,8) a	0,31 \pm 0,04 (32,7) a	0,31 \pm 0,02 (16,7) a
GT (N/mm ²)	127 \pm 21,9 (51,5) a	110 \pm 12,1 (31,2) b	138 \pm 17,7 (36,2) a
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	5,94 \pm 1,35 (68,1) b	8,23 \pm 3,36 (11,6) a	6,94 \pm 1,32 (53,8) a
Relativni LT (%)	11,6 \pm 0,80 (20,6) b	16,7 \pm 4,95 (83,8) a	13,4 \pm 1,16 (24,5) b
Individualni LT (μm)	466 \pm 8,61 (19,9) b	745 \pm 35,3 (12,1) a	501 \pm 9,62 (28,0) ab
Individualni DT (μm)	23,3 \pm 0,21 (10,3) a	27,1 \pm 0,49 (49,4) a	24,1 \pm 0,22 (14,3) a
% I grupa	37,4 \pm 5,13 (41,2) a	36,2 \pm 7,24 (56,6) a	35,1 \pm 6,24 (50,2) a
% II grupa	60,8 \pm 4,82 (23,8) a	60,0 \pm 7,43 (41,4) a	62,0 \pm 5,52 (25,2) a
% III grupa	1,80 \pm 0,50 (83,1) c	3,80 \pm 11,1 (24,1) a	2,90 \pm 1,00 (97,1) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	1,53 \pm 0,45 (87,9) b	1,97 \pm 6,01 (24,4) a	1,94 \pm 0,50 (72,0) a
V_i	0,22 \pm 0,04 (48,3) a	0,26 \pm 0,05 (52,4) a	0,20 \pm 0,04 (52,0) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (t test, $p \leq 0,05$).

9.6. Promjene anatomskih osobina adventivnih korijenova klonova vrba tretiranih Cd u prisustvu limunske kiseline



Slika P9. Poprečni presjek adventivnih korijena tri klona *Salix* spp. gajenih pod uticajem Cd 3+L: A, B - *Salix alba* klon 'B-44'; C, D - *Salix viminalis* klon 'SV068'; E, F - *Salix matsudana* klon 'SM4041'. pk - ostaci primarne kore; pe - periderm; sfl - sekundarni floem; skl - sklerifikovane ćelije; ptr - pojedinačne traheje; gtr - grupisane traheje.



Slika P10. Poprečni presjek adventivnih korijena tri klon *Salix* spp. gajenih pod uticajem Cd 6+L: A, B - *Salix alba* klon 'B-44'; C, D - *Salix viminalis* klon 'SV068'; E, F - *Salix matsudana* klon 'SM4041'. pk – ostaci primarne kore; pe – periderm; sfl – sekundarni floem; skl – sklerifikovane ćelije; ptr – pojedinačne traheje; gtr – grupisane traheje.

Tabela P27. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova *Salix alba* klon 'B-44' (I uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike korijena	Kontrola + L	Cd 3+L (I)	Cd 6+L (I)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	9,71 ± 1,55 (32,0) a	6,14 ± 0,93 (33,9) b	11,3 ± 4,38 (77,7) a
D poprečnog presjeka (μm)	1039 ± 11,4 (21,8) a	867 ± 72,9 (18,8) b	1084 ± 23,9 (44,0) a
% Periderma	2,70 ± 0,61 (45,4) a	3,54 ± 0,31 (19,8) a	3,26 ± 0,90 (55,0) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	20,6 ± 6,22 (60,3) a	14,6 ± 2,54 (39,0) a	14,3 ± 3,71 (51,7) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	273 ± 27,2 (19,9) a	271 ± 49,4 (40,8) a	222 ± 46,6 (42,1) a
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	24,3 ± 5,17 (42,5) a	26,6 ± 0,89 (7,44) a	21,8 ± 5,15 (47,1) a
Odnos drvo/kora	1,32 ± 0,16 (24,0) b	2,50 ± 0,96 (86,3) a	1,56 ± 0,06 (8,37) b
GT (N/mm^2)	52,7 ± 7,36 (27,9) a	41,2 ± 9,30 (50,5) b	46,2 ± 11,0 (47,6) a
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	6,32 ± 1,77 (56,1) a	3,91 ± 0,73 (41,9) b	4,26 ± 1,60 (75,1) b
Relativni LT (%)	26,8 ± 2,56 (19,2) a	23,7 ± 2,52 (23,8) a	22,3 ± 7,03 (63,0) a
Individualni LT (μm)	1130 ± 18,8 (33,3) a	1057 ± 24,3 (51,4) a	770 ± 22,0 (57,1) b
Individualni DT (μm)	36,2 ± 3,10 (17,1) a	34,5 ± 3,58 (23,2) a	28,8 ± 5,40 (37,5) a
% I grupa	7,01 ± 3,00 (84,7) b	6,84 ± 2,27 (74,2) b	29,3 ± 23,6 (16,1) a
% II grupa	55,9 ± 7,88 (28,2) b	67,8 ± 8,26 (27,2) a	51,2 ± 18,1 (70,6) b
% III grupa	37,0 ± 10,6 (57,4) a	25,3 ± 10,1 (89,2) b	19,4 ± 8,48 (87,2) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	4,02 ± 1,65 (81,9) a	2,24 ± 0,65 (0,66) b	2,14 ± 0,92 (86,0) b
V_i	0,71 ± 0,07 (20,9) a	1,08 ± 0,35 (72,2) a	0,65 ± 0,05 (15,6) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (t test, $p \leq 0,05$).

Tabela P28. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova *Salix viminalis* klon 'SV068' (I uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike korijena	Kontrola + L	Cd 3+L (I)	Cd 6+L (I)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	2,09 ± 0,64 (68,0) c	3,22 ± 0,40 (30,2) b	5,73 ± 0,75 (22,7) a
D poprečnog presjeka (μm)	491 ± 87,8 (40,0) c	632 ± 63,6 (24,6) b	868 ± 39,1 (7,80) a
% Periderma	3,16 ± 0,52 (36,8) c	4,58 ± 0,45 (24,4) b	5,87 ± 0,71 (20,9) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	15,1 ± 2,48 (36,6) c	28,5 ± 3,58 (30,7) b	32,3 ± 10,4 (55,6) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	177 ± 10,0 (29,0) c	183 ± 14,8 (26,2) b	295 ± 12,4 (36,7) a
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	23,7 ± 3,70 (34,9) a	33,0 ± 2,76 (20,4) a	26,5 ± 2,03 (13,3) a
Odnos drvo/kora	1,66 ± 0,24 (32,2) a	1,21 ± 0,10 (20,3) a	1,04 ± 0,35 (58,8) a
GT (N/mm^2)	26,2 ± 6,30 (53,7) b	42,8 ± 7,48 (42,8) a	53,0 ± 12,5 (40,8) a
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	0,90 ± 0,08 (21,1) c	2,70 ± 0,24 (22,2) b	3,95 ± 0,38 (16,7) a
Relativni LT (%)	23,2 ± 3,42 (32,9) a	26,8 ± 1,90 (17,4) a	26,5 ± 1,82 (11,9) a
Individualni LT (μm)	436 ± 10,1 (10,1) b	745 ± 14,8 (48,6) a	829 ± 21,5 (45,0) a
Individualni DT (μm)	22,3 ± 2,71 (27,2) a	29,0 ± 2,85 (24,1) a	29,8 ± 4,40 (25,6) a
% I grupa	43,2 ± 12,8 (66,4) a	22,5 ± 5,80 (63,1) b	28,5 ± 11,6 (70,5) b
% II grupa	56,8 ± 12,8 (50,4) a	61,6 ± 3,37 (13,4) a	44,8 ± 9,52 (36,8) a
% III grupa	0,00 ± 0,00 (0,00) c	15,8 ± 8,60 (13,3) b	26,7 ± 13,8 (89,6) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	1,18 ± 0,03 (32,4) b	2,10 ± 0,18 (45,6) a	2,01 ± 0,44 (37,9) a
V_i	1,40 ± 0,66 (10,6) a	0,92 ± 0,28 (75,3) a	0,66 ± 0,23 (59,6) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (t test, $p \leq 0,05$).

Tabela P29. Anatomske karaktere adventivnih korijenova *Salix matsudana* klon 'SM4041' (I uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere korijena	Kontrola + L	Cd 3+L (I)	Cd 6+L (I)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	5,93 ± 0,68 (23,0) a	5,54 ± 0,95 (34,2) a	6,09 ± 0,66 (24,3) a
D poprečnog presjeka (μm)	753 ± 13,5 (35,7) a	782 ± 34,50 (8,82) a	827 ± 82,9 (22,4) a
% Periderma	4,97 ± 1,23 (45,4) a	5,23 ± 0,5 (19,0) a	4,86 ± 0,35 (16,0) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	24,9 ± 3,26 (26,1) a	28,9 ± 4,75 (32,8) a	32,1 ± 6,97 (48,2) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	285 ± 45,7 (32,0) a	181 ± 35,3 (39,1) b	249 ± 36,0 (32,4) a
% Drveta (primarni i sekundarni ksilem)	19,8 ± 1,98 (20,0) a	23,2 ± 1,70 (14,6) a	20,7 ± 1,97 (21,3) a
Odnos drvo/kora	0,83 ± 0,05 (12,5) a	0,85 ± 0,11 (25,0) a	0,76 ± 0,16 (46,2) a
GT (N/mm ²)	42,0 ± 1,47 (7,00) a	49,3 ± 10,9 (44,2) a	43,6 ± 2,84 (14,6) a
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	2,98 ± 0,09 (6,54) a	2,68 ± 0,80 (60,0) a	2,19 ± 0,35 (36,1) a
Relativni LT (%)	26,5 ± 1,68 (12,7) a	19,5 ± 1,92 (19,7) b	17,3 ± 1,03 (13,3) b
Individualni LT (μm)	712 ± 18,2 (5,12) a	526 ± 64,2 (24,4) b	501 ± 66,5 (29,6) b
Individualni DT (μm)	29,3 ± 0,41 (2,84) a	24,7 ± 1,60 (12,9) b	23,9 ± 1,76 (16,5) b
% I grupa	10,7 ± 2,35 (44,1) b	30,7 ± 6,83 (44,5) a	35,0 ± 9,40 (60,1) a
% II grupa	82,0 ± 3,00 (7,32) a	66,4 ± 4,90 (14,8) b	62,7 ± 9,16 (32,7) b
% III grupa	7,26 ± 1,56 (42,9) a	2,90 ± 2,44 (17,4) b	2,40 ± 1,10 (10,1) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	1,02 ± 0,04 (7,16) a	0,80 ± 0,31 (78,2) a	0,60 ± 0,16 (55,8) a
V_i	0,70 ± 0,02 (8,50) a	0,60 ± 0,13 (44,2) a	0,60 ± 0,05 (19,1) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (*t* test, $p \leq 0,05$).

Tabela P30. Anatomske karaktere adventivnih korijenova *Salix alba* klon 'B-44' (II uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere korijena	Kontrola + L	Cd 3+L (II)	Cd 6+L (II)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	5,92 ± 0,44 (30,6) a	5,53 ± 0,72 (37,0) a	6,10 ± 0,38 (29,2) a
D poprečnog presjeka (μm)	849 ± 37,3 (17,6) b	957 ± 50,9 (20,6) a	768 ± 32,5 (16,9) b
% Periderma	3,91 ± 0,41 (42,4) a	4,43 ± 0,41 (35,5) a	4,98 ± 0,32 (25,5) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	21,9 ± 3,15 (57,5) a	22,2 ± 2,91 (50,8) a	17,9 ± 1,97 (44,2) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	218 ± 16,2 (29,8) a	272 ± 33,1 (47,1) a	174 ± 14,0 (32,3) a
% Drveta (primarni i sekundarni ksilem)	26,2 ± 3,29 (50,1) a	26,8 ± 3,20 (46,3) a	26,1 ± 2,08 (31,9) a
Odnos drvo/kora	1,31 ± 0,10 (31,4) a	1,25 ± 0,07 (22,1) a	1,58 ± 0,10 (24,6) a
GT (N/mm ²)	46,8 ± 4,88 (41,7) a	49,1 ± 6,39 (50,4) a	51,3 ± 4,80 (37,4) a
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	2,66 ± 0,37 (56,4) a	3,58 ± 0,67 (72,8) a	2,30 ± 0,30 (51,8) a
Relativni LT (%)	18,4 ± 0,93 (20,3) a	17,1 ± 1,02 (23,1) a	16,6 ± 1,20 (28,9) a
Individualni LT (μm)	560 ± 47,7 (34,0) b	716 ± 82,6 (44,7) a	428 ± 32,1 (30,0) c
Individualni DT (μm)	25,0 ± 1,16 (18,6) a	28,6 ± 1,68 (22,6) a	21,9 ± 0,74 (13,6) a
% I grupa	32,6 ± 5,36 (65,8) b	20,4 ± 5,96 (11,3) c	46,7 ± 4,05 (34,7) a
% II grupa	60,5 ± 4,44 (29,3) a	65,5 ± 5,66 (33,5) a	50,1 ± 3,84 (30,6) b
% III grupa	6,92 ± 1,92 (11,1) b	14,1 ± 5,12 (14,1) a	3,22 ± 1,54 (19,1) c
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,89 ± 0,16 (70,4) b	1,43 ± 0,36 (97,8) a	0,65 ± 0,13 (80,9) c
V_i	0,66 ± 0,10 (61,9) b	0,87 ± 0,21 (96,0) a	0,52 ± 0,07 (57,1) c

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (*t* test, $p \leq 0,05$).

Tabela P31. Anatomske karaktere adventivnih korijenova *Salix viminalis* klon 'SV068' (II uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere korijena	Kontrola + L	Cd 3+L (II)	Cd 6+L (II)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	3,42 ± 1,08 (11,3) b	3,52 ± 0,42 (39,4) b	5,02 ± 0,86 (61,5) a
D poprečnog presjeka (μm)	602 ± 86,7 (53,9) b	680 ± 45,6 (22,2) b	819 ± 58,2 (25,6) a
% Periderma	3,97 ± 0,30 (28,3) b	5,98 ± 0,36 (20,0) a	3,39 ± 0,27 (24,9) b
% Sekundarnog korteksa (floema)	25,5 ± 3,38 (49,4) a	25,4 ± 3,00 (39,0) a	16,3 ± 8,94 (75,8) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	187 ± 9,53 (40,8) a	191 ± 29,6 (51,3) a	166 ± 34,7 (75,2) a
% Drveta (primarni i sekundarni ksilem)	25,1 ± 2,21 (33,0) ab	33,5 ± 33,1 (27,3) a	19,4 ± 2,65 (49,3) b
Odnos drvo/kora	1,08 ± 0,07 (23,3) a	1,51 ± 0,23 (50,2) a	1,53 ± 0,16 (38,9) a
GT (N/mm ²)	35,2 ± 7,57 (80,4) ab	45,8 ± 5,58 (40,4) a	26,1 ± 3,24 (44,6) b
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	1,65 ± 0,72 (16,3) b	2,58 ± 0,42 (54,4) a	2,64 ± 0,30 (66,7) a
Relativni LT (%)	18,3 ± 0,73 (14,9) a	21,2 ± 21,4 (28,0) a	17,3 ± 1,38 (28,7) a
Individualni LT (μm)	373 ± 42,3 (42,4) b	574 ± 87,6 (50,6) a	578 ± 69,3 (43,2) a
Individualni DT (μm)	20,6 ± 1,09 (19,8) a	24,4 ± 1,90 (25,8) a	25,4 ± 25,4 (22,0) a
% I grupa	50,8 ± 5,42 (39,9) a	47,4 ± 6,62 (42,5) a	34,3 ± 6,93 (72,9) b
% II grupa	36,3 ± 4,65 (36,3) b	41,2 ± 4,74 (37,9) b	56,5 ± 6,03 (38,5) a
% III grupa	12,9 ± 1,29 (37,5) a	11,3 ± 3,70 (3,80) a	9,20 ± 3,44 (13,4) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	1,06 ± 0,32 (22,8) a	1,13 ± 0,35 (10,3) a	1,11 ± 0,19 (19,6) a
V_i	0,41 ± 0,08 (39,0) b	0,63 ± 0,08 (44,0) a	0,75 ± 0,10 (32,6) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (*t* test, $p \leq 0,05$).

Tabela P32. Anatomske karaktere adventivnih korijenova *Salix matsudana* klon 'SM4041' (II uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere korijena	Kontrola + L	Cd 3+L (II)	Cd 6+L (II)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	5,28 ± 0,51 (44,9) b	6,77 ± 0,85 (54,5) a	4,33 ± 0,39 (31,4) b
D poprečnog presjeka (μm)	801 ± 38,2 (22,3) b	902 ± 52,2 (25,2) a	729 ± 34,3 (16,3) b
% Periderma	4,99 ± 0,42 (39,1) a	4,16 ± 0,28 (29,8) a	4,54 ± 0,50 (37,9) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	30,7 ± 2,29 (35,1) a	30,3 ± 3,82 (3,8) a	22,3 ± 4,29 (66,6) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	365 ± 49,8 (64,0) a	367 ± 52,7 (62,7) a	254 ± 44,7 (61,0) b
% Drveta (primarni i sekundarni ksilem)	20,2 ± 1,34 (31,0) a	17,4 ± 1,66 (41,5) a	15,8 ± 2,41 (52,9) a
Odnos drvo/kora	0,71 ± 0,05 (33,9) a	0,74 ± 0,09 (0,10) a	0,89 ± 0,14 (53,9) a
GT (N/mm ²)	43,9 ± 4,77 (51,0) a	44,6 ± 3,82 (37,3) a	39,7 ± 5,92 (51,6) a
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	1,55 ± 0,17 (51,3) a	1,91 ± 0,26 (59,1) a	1,26 ± 0,23 (0,23) a
Relativni LT (%)	15,3 ± 0,77 (23,7) a	17,0 ± 0,86 (22,2) a	21,4 ± 3,98 (64,4) a
Individualni LT (μm)	356 ± 15,8 (20,84) a	400 ± 30,9 (33,7) a	304 ± 17,1 (19,4) a
Individualni DT (μm)	20,3 ± 0,46 (10,6) a	21,4 ± 0,83 (16,9) a	18,7 ± 0,51 (9,49) a
% I grupa	56,7 ± 3,13 (25,9) a	48,4 ± 4,90 (44,2) a	62,4 ± 3,59 (19,9) a
% II grupa	42,7 ± 3,00 (33,0) ab	50,0 ± 4,45 (38,8) a	37,3 ± 3,54 (32,8) a
% III grupa	0,66 ± 0,37 (26,4) b	1,65 ± 0,63 (16,7) a	0,22 ± 0,20 (34,6) c
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,33 ± 0,04 (63,7) b	0,52 ± 0,05 (79,6) a	0,23 ± 0,05 (75,4) c
V_i	0,58 ± 0,06 (48,7) a	0,58 ± 0,05 (48,0) a	0,61 ± 0,10 (59,9) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (*t* test, $p \leq 0,05$).

Tabela P33. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova *Salix alba* klon 'B-44' (III uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike korijena	Kontrola + L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	22,7 ± 4,14 (57,8) a	20,0 ± 5,16 (73,2) a	17,1 ± 2,47 (41,0) a
D poprečnog presjeka (μm)	1637 ± 13,4 (26,0) a	1527 ± 19,0 (35,3) a	1433 ± 10,3 (20,4) a
% Periderma	4,24 ± 0,26 (19,1) a	4,53 ± 0,33 (20,6) a	4,53 ± 0,26 (16,4) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	36,4 ± 4,32 (37,6) a	42,0 ± 2,03 (13,7) a	37,5 ± 2,92 (22,0) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	267 ± 16,6 (49,3) b	325 ± 21,7 (47,3) ab	381 ± 17,8 (16,3) a
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	28,0 ± 3,00 (33,6) a	31,2 ± 0,91 (8,27) a	30,3 ± 1,44 (13,4) a
Odnos drvo/kora	0,80 ± 0,06 (21,7) a	0,76 ± 0,05 (17,2) a	0,83 ± 0,07 (25,6) a
GT (N/mm ²)	117 ± 23,1 (62,5) a	125 ± 20,3 (49,2) a	102 ± 8,08 (22,4) a
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	11,6 ± 1,71 (46,3) a	14,0 ± 3,89 (78,5) a	11,1 ± 1,40 (35,6) a
Relativni LT (%)	21,8 ± 2,29 (33,2) a	22,9 ± 1,44 (17,8) a	22,7 ± 1,21 (15,1) a
Individualni LT (μm)	1102 ± 11,7 (33,6) a	1115 ± 91,2 (23,1) a	1076 ± 64,7 (17,0) a
Individualni DT (μm)	35,1 ± 2,23 (20,1) a	36,1 ± 1,38 (10,8) a	35,7 ± 1,09 (8,67) a
% I grupa	11,3 ± 6,24 (17,4) a	4,48 ± 1,15 (72,6) b	3,80 ± 0,80 (57,3) b
% II grupa	56,5 ± 4,53 (25,3) a	62,4 ± 5,20 (23,6) a	63,2 ± 4,60 (20,6) a
% III grupa	32,1 ± 5,60 (55,1) a	33,1 ± 5,53 (47,2) a	33,0 ± 4,93 (42,3) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	7,77 ± 1,64 (66,9) a	9,76 ± 4,16 (12,1) a	6,20 ± 1,08 (49,4) a
V_i	0,40 ± 0,07 (53,8) a	0,35 ± 0,04 (35,4) a	0,36 ± 0,02 (17,0) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (*t* test, $p \leq 0,05$).

Tabela P34. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova *Salix viminalis* klon 'SV068' (III uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike korijena	Kontrola + L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	34,4 ± 14,5 (10,4) a	25,6 ± 4,21 (46,5) ab	20,2 ± 5,40 (75,4) b
D poprečnog presjeka (μm)	1851 ± 42,6 (56,4) a	1716 ± 16,5 (27,4) a	1471 ± 214 (41,2) b
% Periderma	4,79 ± 0,87 (44,6) a	4,96 ± 0,56 (31,7) a	5,03 ± 0,17 (9,31) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	30,4 ± 6,48 (52,1) a	36,7 ± 2,65 (20,4) a	32,2 ± 3,72 (32,7) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	914 ± 25,2 (67,4) a	840 ± 14,4 (39,1) a	651 ± 11,7 (44,2) b
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	28,8 ± 5,55 (47,1) a	32,2 ± 1,90 (16,7) a	36,4 ± 1,29 (10,0) a
Odnos drvo/kora	1,13 ± 0,20 (43,9) a	0,92 ± 0,11 (32,1) a	1,29 ± 0,22 (49,0) a
GT (N/mm ²)	75,7 ± 22,1 (71,7) b	103 ± 7,50 (20,6) a	114 ± 7,35 (18,3) a
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	22,9 ± 10,8 (11,6) a	12,9 ± 1,20 (26,2) b	16,0 ± 2,30 (40,6) ab
Relativni LT (%)	18,0 ± 2,34 (31,8) b	21,6 ± 5,72 (75,1) b	40,8 ± 13,1 (90,7) a
Individualni LT (μm)	1988 ± 61,0 (75,1) a	1270 ± 77,4 (17,2) b	1395 ± 165 (33,5) b
Individualni DT (μm)	45,1 ± 8,22 (44,7) a	34,7 ± 2,09 (17,0) b	37,7 ± 2,30 (17,2) ab
% I grupa	14,1 ± 10,1 (17,4) a	6,00 ± 2,20 (10,7) b	7,11 ± 1,38 (55,2) b
% II grupa	34,1 ± 11,6 (83,2) b	65,9 ± 5,74 (24,6) a	56,0 ± 6,01 (30,3) a
% III grupa	50,1 ± 61,3 (13,7) a	28,1 ± 7,06 (71,1) b	36,7 ± 6,09 (46,9) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	12,7 ± 8,07 (15,5) a	6,00 ± 1,45 (15,1) b	12,0 ± 3,62 (85,5) a
V_i	0,76 ± 0,16 (51,5) a	0,36 ± 0,05 (42,3) b	0,34 ± 0,03 (24,1) b

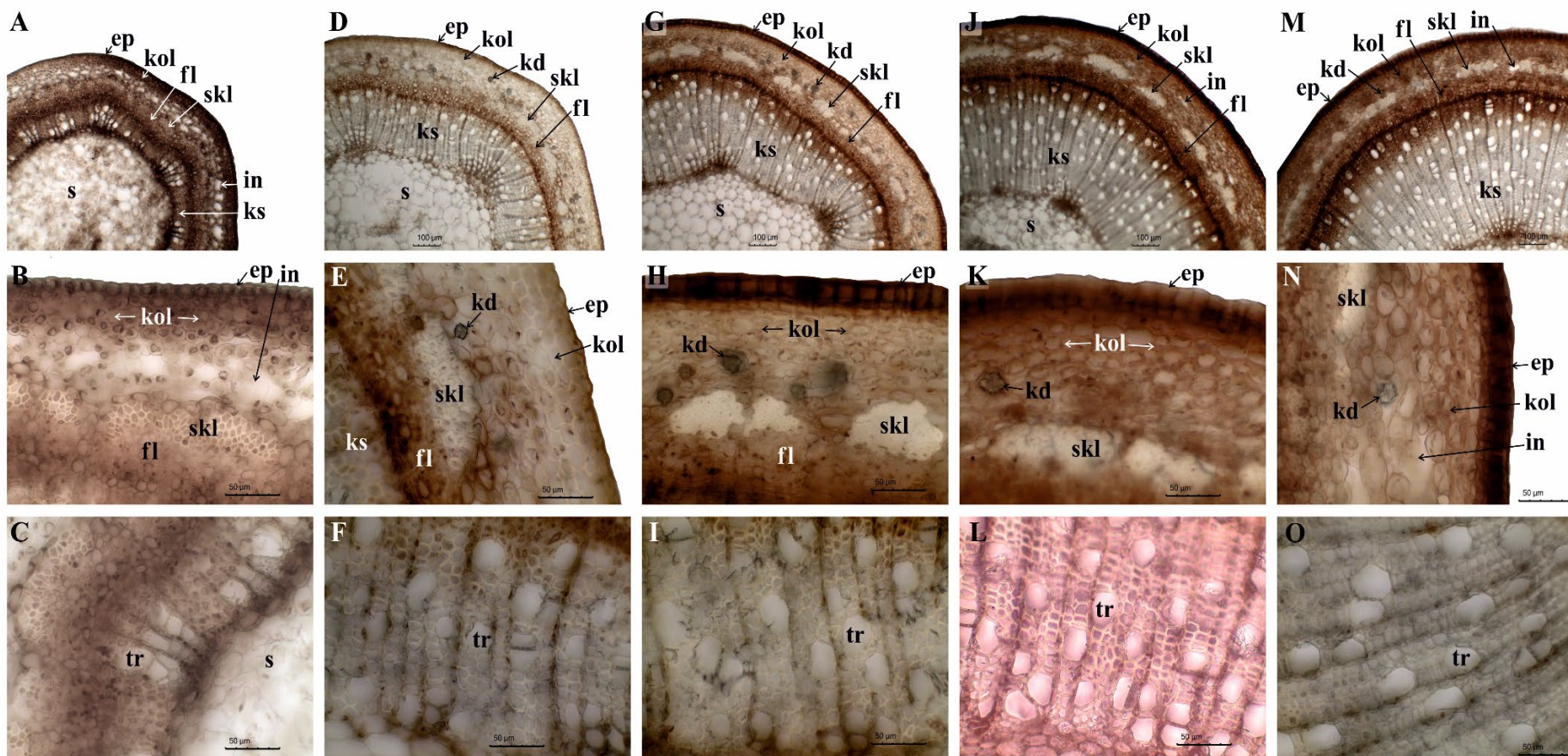
*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (*t* test, $p \leq 0,05$).

Tabela P35. Anatomske karakteristike adventivnih korijenova *Salix matsudana* klon 'SM4041' (III) uzorak pod utjecajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

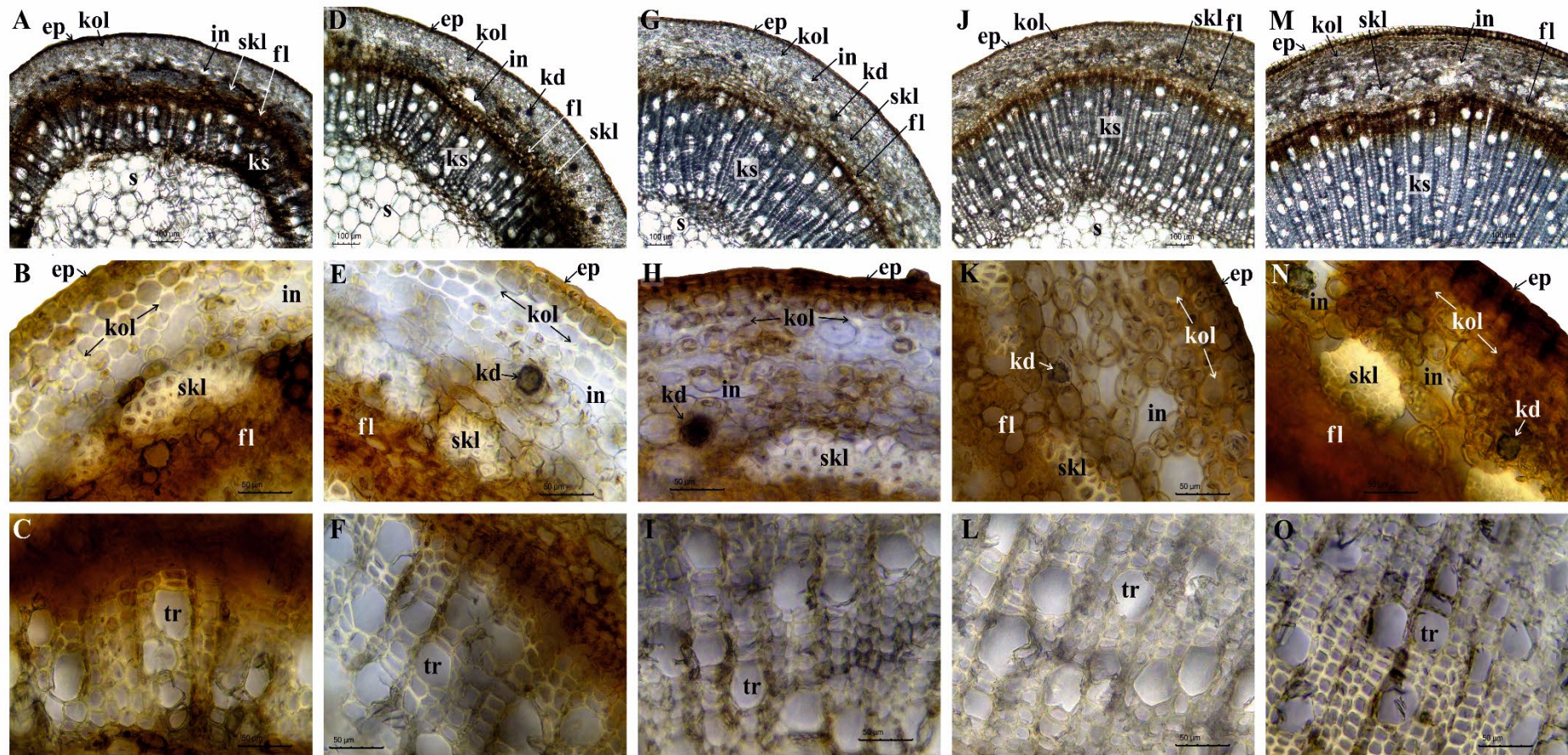
Anatomske karakteristike korijena	Kontrola + L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
P poprečnog presjeka ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	45,8 ± 13,4 (77,2) a	31,3 ± 8,73 (79,0) b	20,6 ± 5,30 (68,0) c
D poprečnog presjeka (μm)	2252 ± 33,0 (38,7) a	1798 ± 26,7 (42,1) b	1524 ± 20,5 (35,5) b
% Periderma	4,40 ± 0,43 (26,1) a	4,97 ± 0,38 (21,6) a	5,15 ± 0,48 (24,5) a
% Sekundarnog korteksa (floema)	57,2 ± 2,92 (13,5) a	53,0 ± 4,96 (26,5) a	52,7 ± 4,60 (23,0) a
P ćelija parenhima sekundarnog korteksa (μm^2)	925 ± 16,3 (21,0) a	859 ± 28,4 (33,7) a	720 ± 39,8 (22,2) b
% Drveta (primarni i sekundarni ksilemi)	20,1 ± 1,06 (14,0) a	21,6 ± 1,09 (14,3) a	18,2 ± 1,41 (20,6) a
Odnos drvo/kora	0,36 ± 0,04 (26,1) a	0,44 ± 0,06 (38,1) a	0,37 ± 0,06 (42,9) a
GT (N/mm ²)	118 ± 11,0 (24,8) a	99,0 ± 4,87 (13,9) a	89,1 ± 5,62 (16,7) b
Ukupni LT ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	7,76 ± 0,84 (28,7) a	6,19 ± 0,37 (17,1) a	5,96 ± 0,55 (24,6) b
Relativni LT (%)	23,3 ± 3,71 (73,8) a	18,4 ± 5,47 (84,3) a	23,4 ± 5,21 (58,9) a
Individualni LT (μm)	669 ± 60,1 (23,8) a	624 ± 14,3 (6,51) a	670 ± 49,8 (19,7) a
Individualni DT (μm)	27,5 ± 1,47 (14,1) a	26,5 ± 0,44 (4,71) a	26,5 ± 1,23 (12,3) a
% I grupa	15,9 ± 7,85 (13,3) b	16,9 ± 1,82 (30,4) b	29,7 ± 5,03 (44,7) a
% II grupa	79,0 ± 7,08 (23,7) a	78,9 ± 1,33 (4,77) a	61,0 ± 3,82 (16,5) b
% III grupa	5,09 ± 1,05 (54,7) b	4,18 ± 1,03 (69,6) b	9,23 ± 1,56 (44,8) a
$k_n \cdot 10^{-6}$	2,47 ± 0,40 (41,4) a	1,83 ± 0,18 (28,5) a	2,00 ± 0,35 (46,6) a
V_i	0,25 ± 0,03 (27,5) a	0,27 ± 0,01 (13,4) a	0,30 ± 0,02 (19,1) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (*t* test, $p \leq 0,05$).

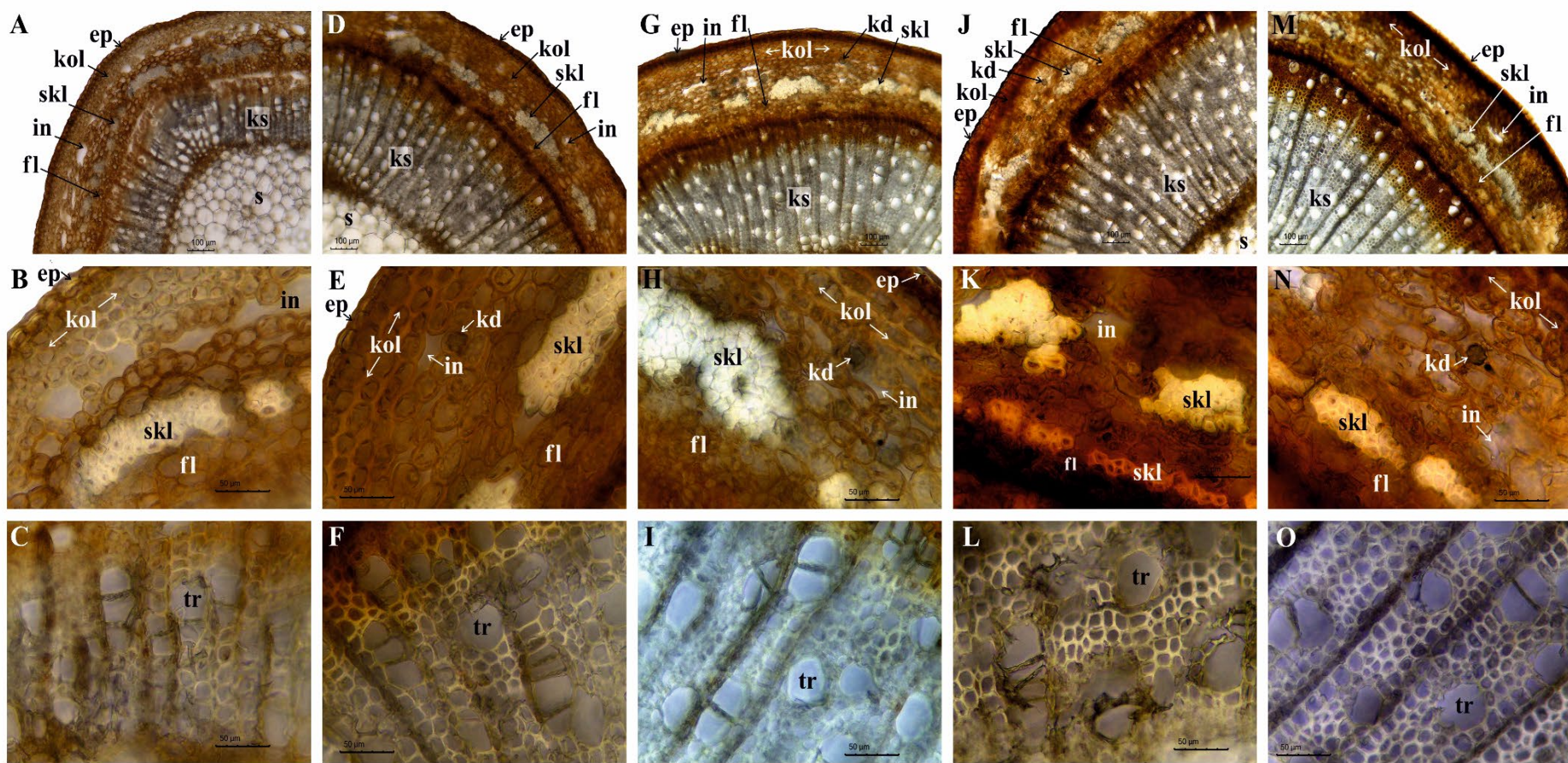
9.7. Analiza anatomskih karaktera izbojaka tri klona *Salix* spp.



Slika P11. Anatomska građa izbojka *Salix alba* klon 'B-44', gajenog u prisustvu limunske kiseline. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – inercelulari primarne kore, kd – kristalna druzca, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.

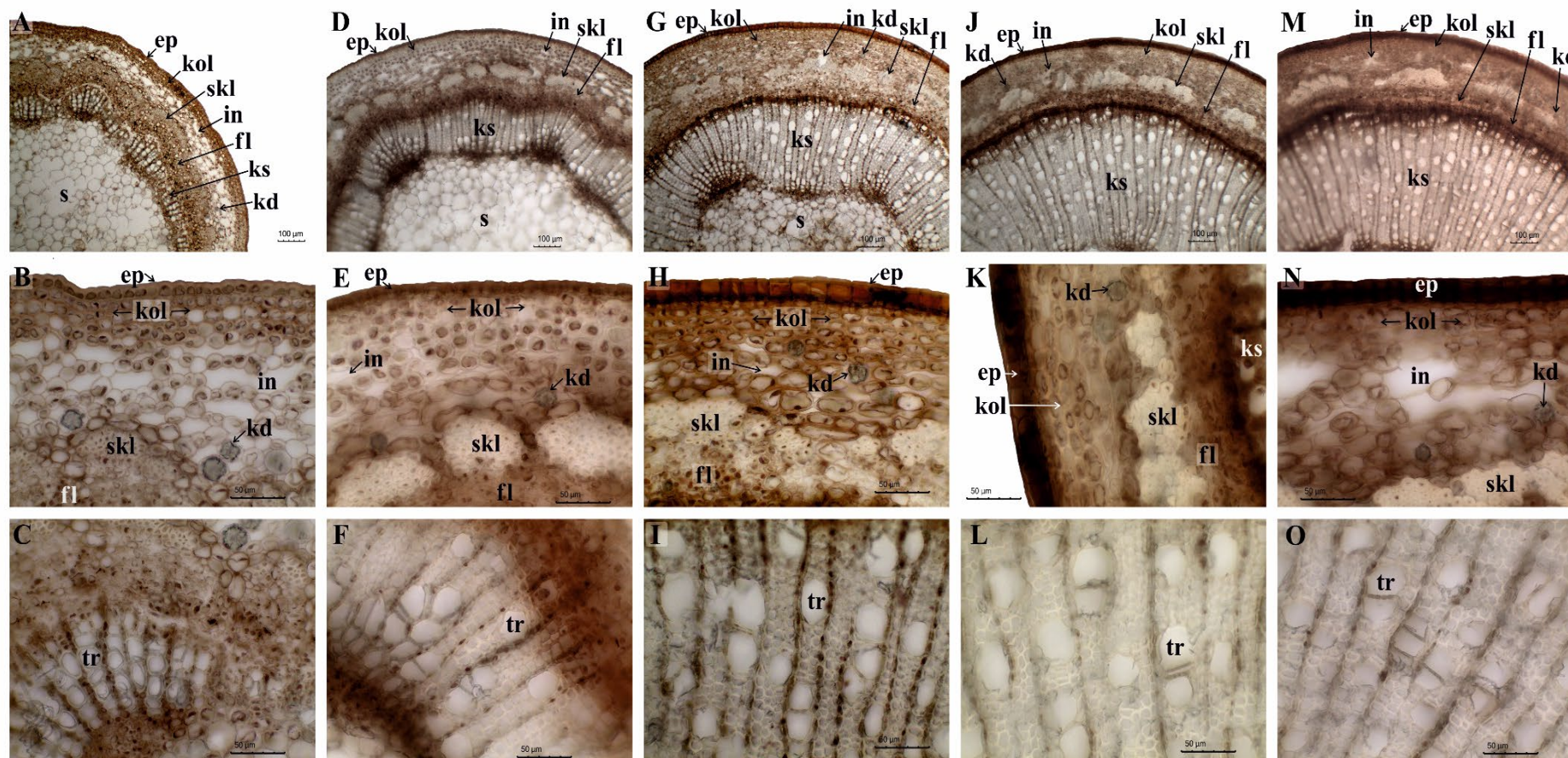


Slika P12. Anatomska građa izbojka *Salix viminalis* klon 'SV068', gajenog u prisustvu limunske kiseline. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druga, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.

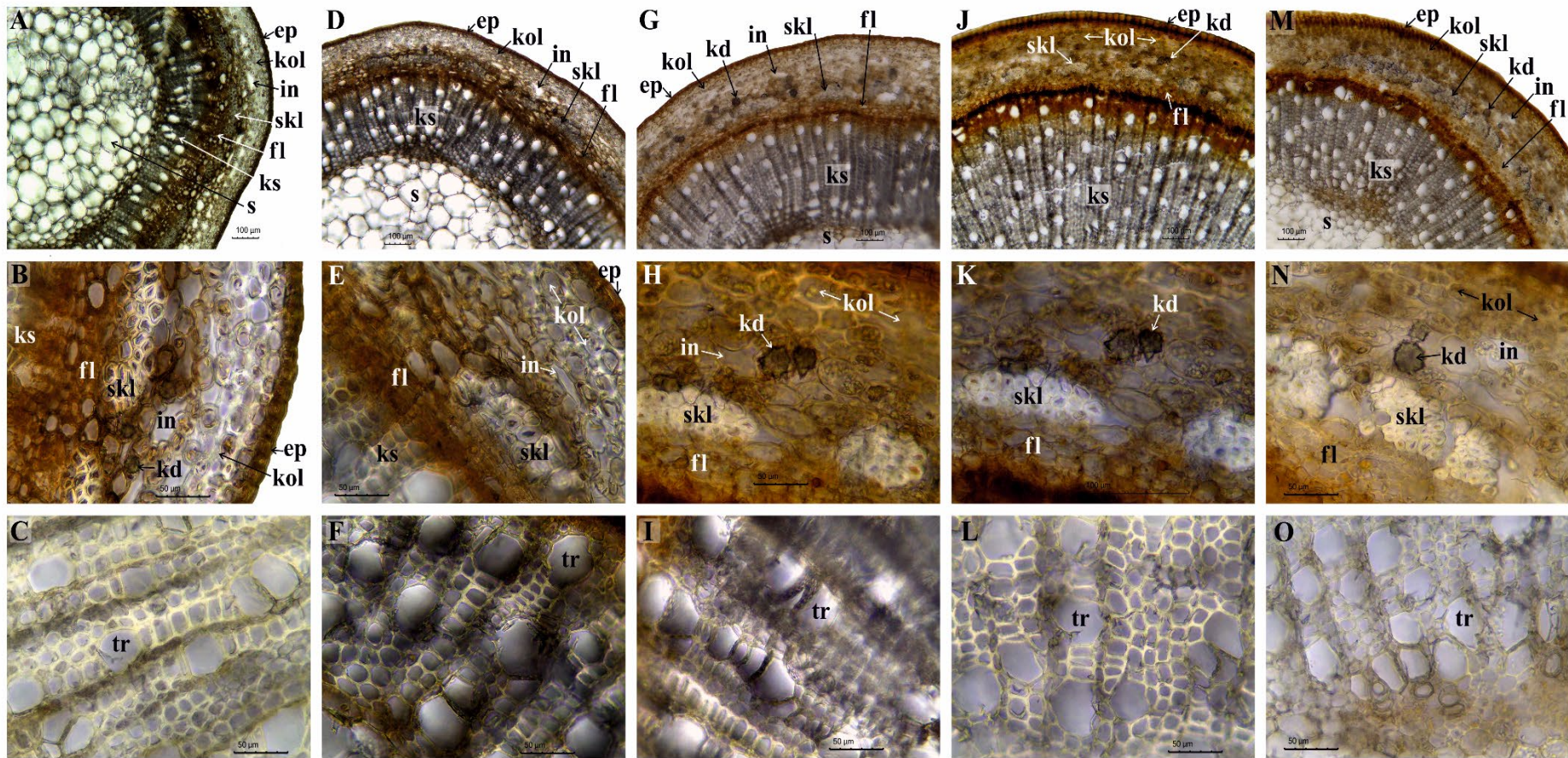


Slika P13. Anatomska građa izbojka *Salix matsudana* klon ‘SM4041’, gajenog u prisustvu limunske kiseline. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druzna, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.

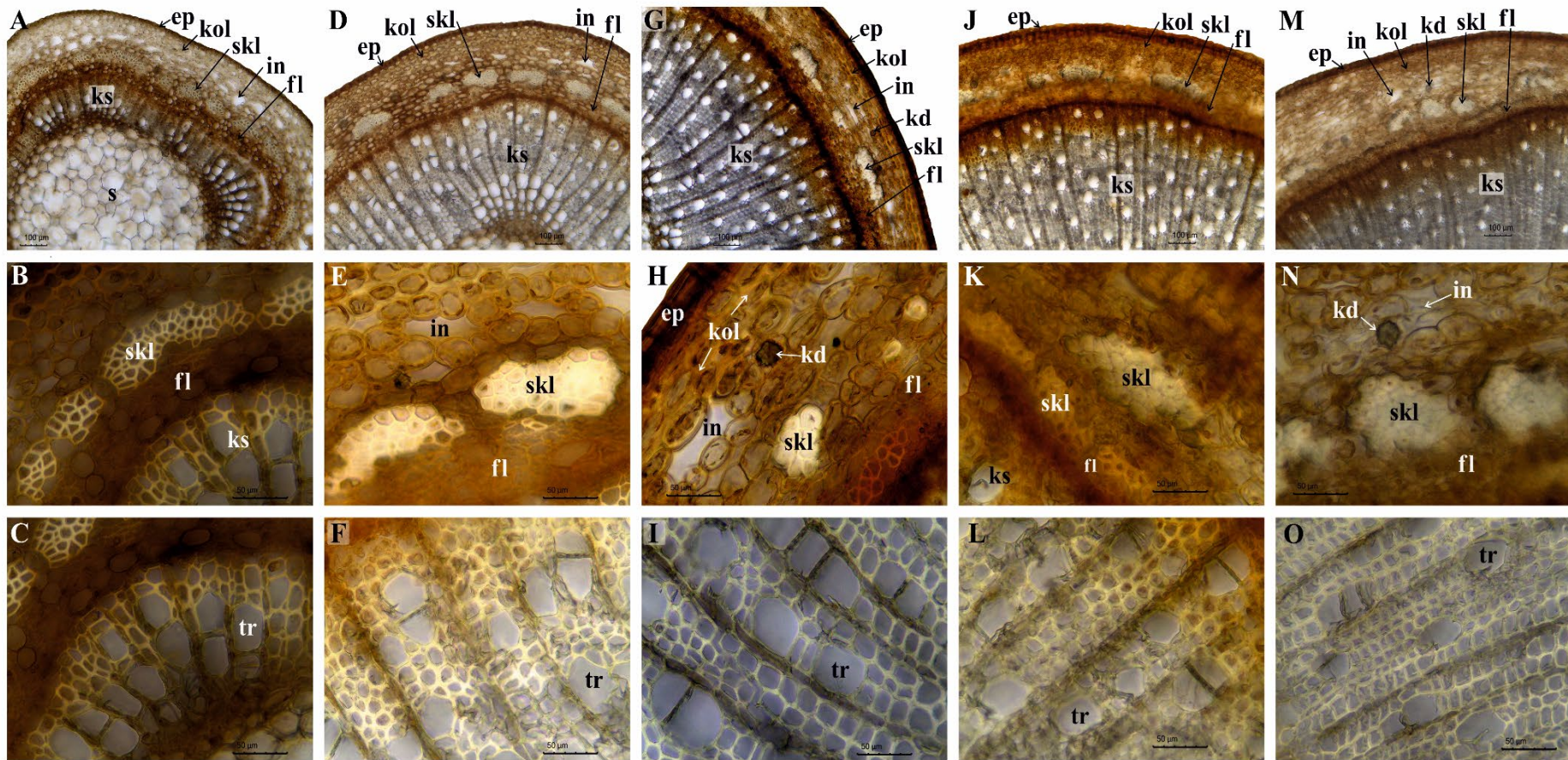
9.8. Uticaj Cd na anatomske parametre izbojaka klonova vrba



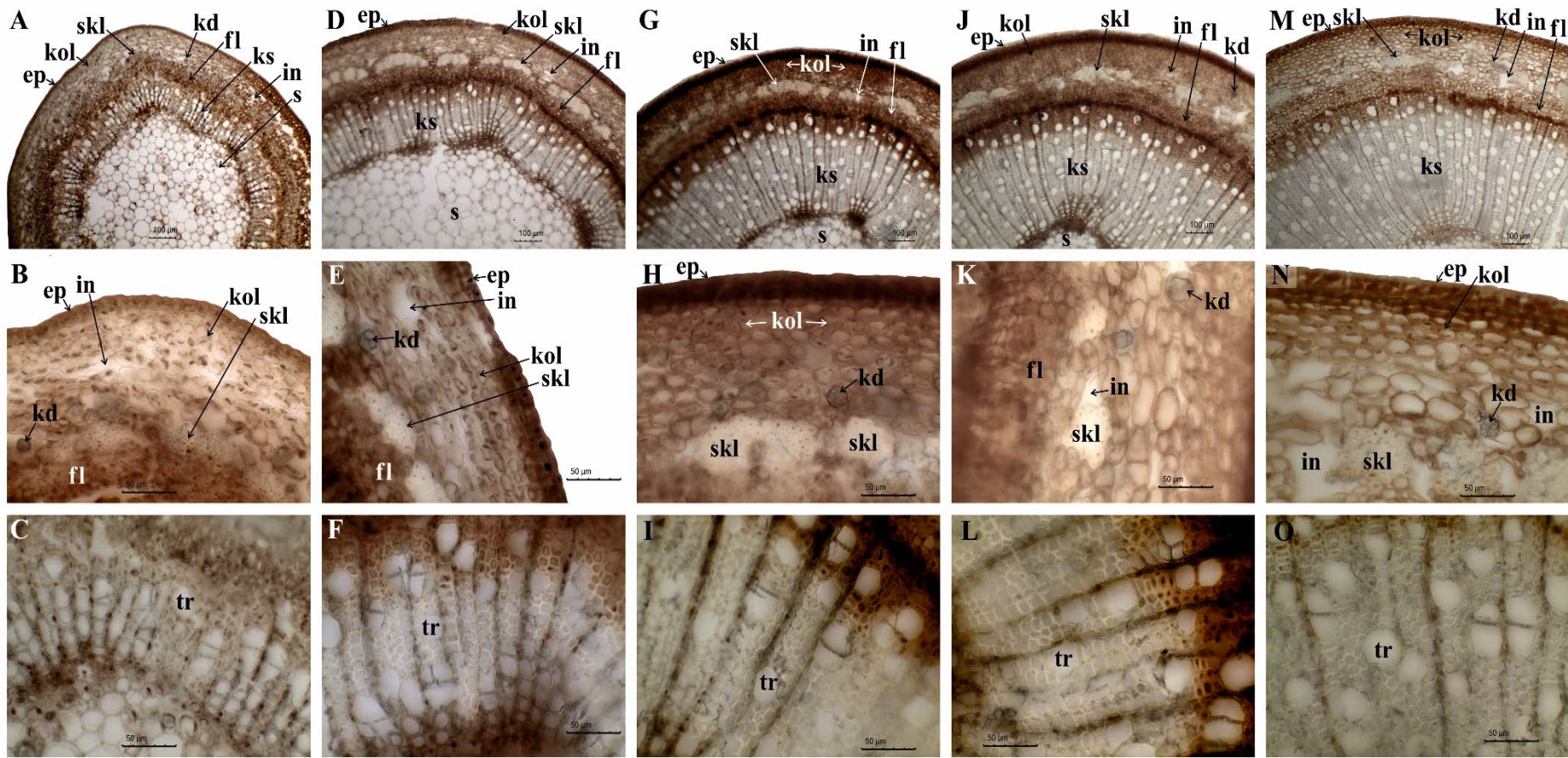
Slika P14. Anatomska građa izbojka *Salix alba* klon 'B-44', gajenog u prisustvu Cd 3. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druzna, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



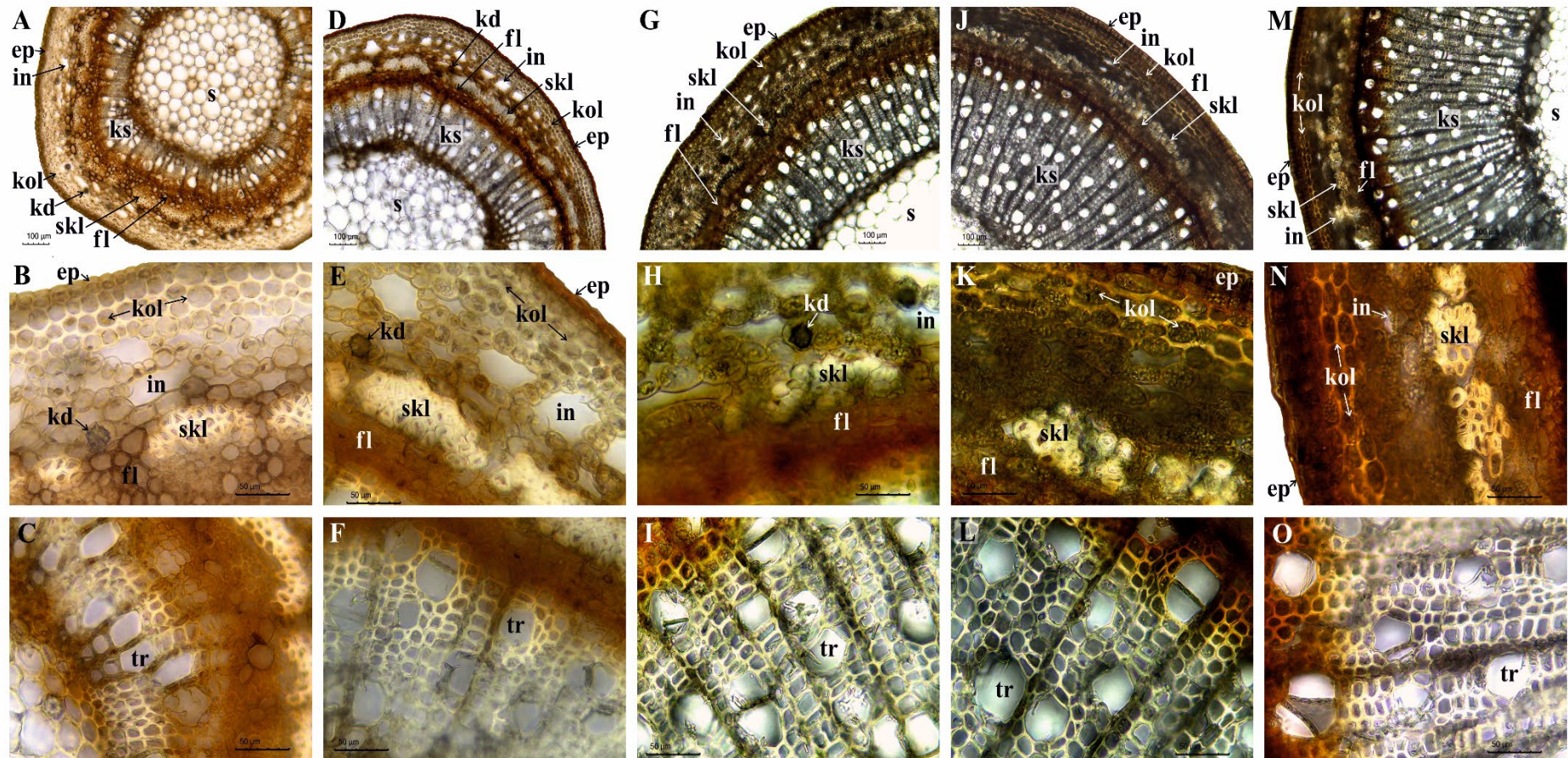
Slika P15. Anatomska građa izbojka *Salix viminalis* klon ‘SV068’, gajenog u prisustvu Cd 3. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druzna, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



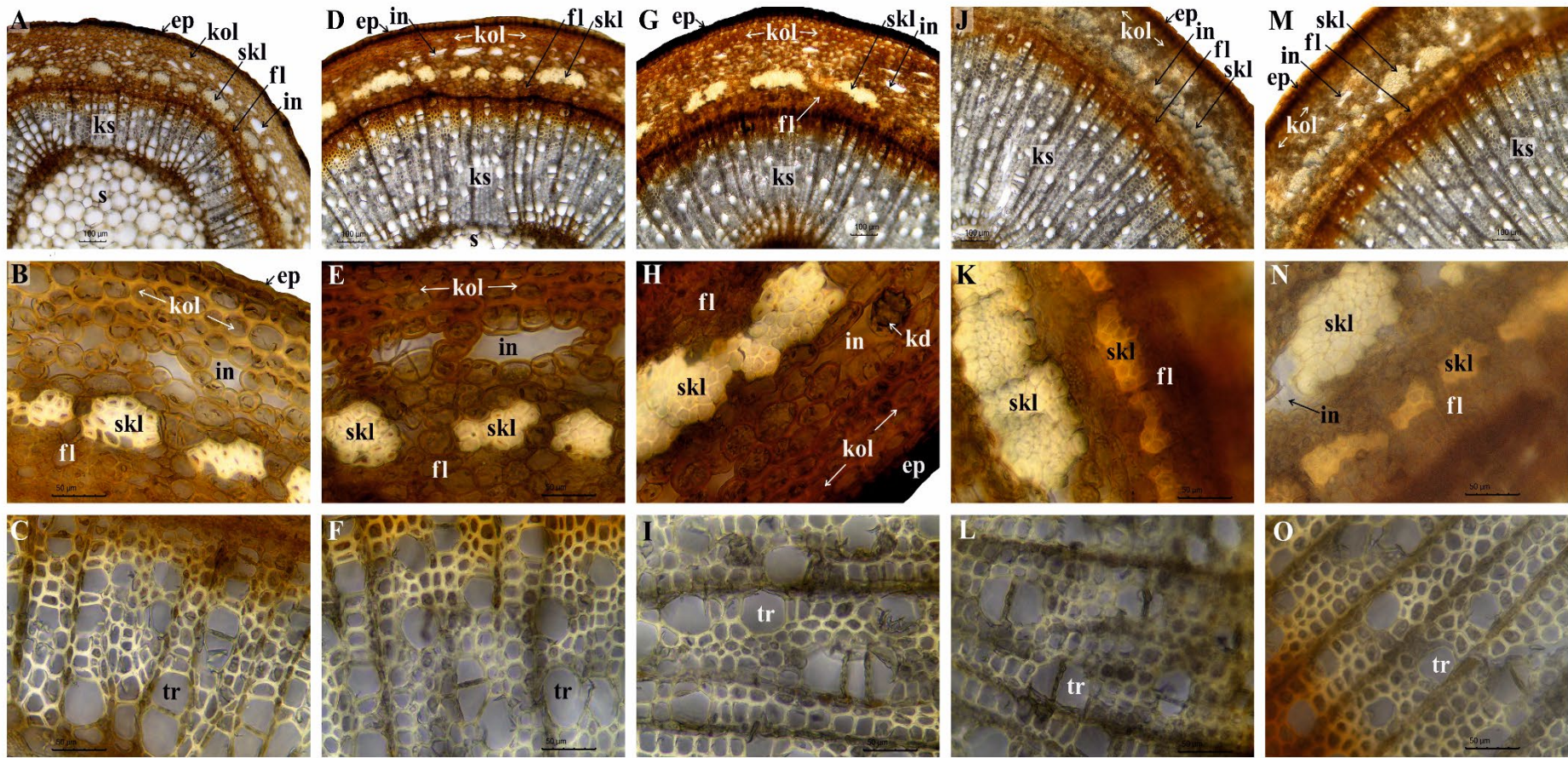
Slika P16. Anatomska građa izbojka *Salix matsudana* klon 'SM4041', gajenog u prisustvu Cd 3. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druža, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



Slika P17. Anatomna građa izbojka *Salix alba* klon 'B-44', gajenog u prisustvu Cd 6. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druzna, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



Slika P18. Anatomska građa izbojka *Salix viminalis* klon 'SV068', gajenog u prisustvu Cd 6. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druzna, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



Slika P19. Anatomska građa izbojka *Salix matsudana* klon ‘SM4041’, gajenog u prisustvu Cd 6. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druza, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.

Tabela P36. Rezultati F testa trofaktorijske analize varijanse (ANOVA) za anatomske karaktere izbojaka tri klona vrba

Anatomski karakteri	Izvor varijacija							
		Klon	Tretman	Faza uzorkovanja	Klon × Tretman	Klon × Faza uzorkovanja	Tretman × Faza uzorkovanja	Klon × Tretman × Faza uzorkovanja
	df	2	3	2	6	4	6	12
% Epidermisa		25,6*	15,0*	266,2*	15,4*	15,4*	5,3*	6,4*
% Primarne kore		11,7*	26,6*	45,5*	30,0*	3,6*	15,0*	11,0*
% Sekundarnog floema		90,3*	39,0*	49,2*	38,3*	16,4*	59,7*	25,3*
% Sekundarnog ksilema		73,0*	40,4*	9,5*	21,4*	28,1*	8,7*	7,5*
Odnos ksilema/floem		38,3*	11,2*	26,1*	21,8*	14,7*	37,4*	14,3*
% Srži		41,2*	29,4*	46,0*	16,6*	1,1 ^{NS}	0,7 ^{NS}	3,4*
% Traheja u ksilemu		5,9*	172,2*	166,0*	24,3*	15,3*	11,4*	7,6*
Broj traheja po mm ² ksilema		80,1*	46,7*	2,5 ^{NS}	19,4*	33,9*	4,7*	19,2*
Prosječna površina traheja		4,6*	121,7*	48,3*	21,8*	35,6*	38,6*	14,6*
$k_h \cdot 10^{-6}$		38,2*	8,8*	17,0*	6,9*	33,9*	29,7*	20,8*
V_i		33,1*	52,3*	196,3*	11,7*	37,7*	38,7*	6,1*
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema		60,5*	46,5*	1,2 ^{NS}	14,0*	27,7*	4,5*	15,4*
Površina pojedinačnih traheja		5,5*	41,3*	35,2*	3,6*	22,1*	31,7*	12,0*
% Pojedinačnih traheja u ksilemu		2,4 ^{NS}	154,3*	123,2*	24,2*	13,8*	8,7*	5,9*
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema		83,0*	31,6*	6,2*	25,1*	41,2*	14,2*	20,1*
Površina jedne grupisane traheje		47,0*	196,6*	34,6*	53,7*	33,0*	28,5*	13,7*
% Grupisanih traheja u ksilemu		25,6*	141,5*	184,2*	22,5*	15,6*	18,1*	13,6*
Broj grupa traheja po mm ² ksilema		88,3*	49,0*	0,9 ^{NS}	18,4*	28,7*	9,5*	17,1*
Broj traheja u jednoj grupi		5,7*	16,3*	19,7*	8,0*	9,4*	11,8*	3,7*
V_g		17,9*	11,3*	24,7*	6,9*	4,1*	12,3*	6,7*

Nezavisni faktori su klon ('B-44', 'SV068', 'SM4041'), tretman (Cd 3, Cd 6, Cd 3+L, Cd 6+L) i faza uzorkovanja (juni, avgust i septembar); df – stepeni slobode.

Legenda za nivo značajnosti: NS – nije značajan uticaj ($p > 0,05$); (*) – značajan uticaj za $p \leq 0,05$.

Tabela P37. Anatomske karaktere izbojaka *Salix alba* klon 'B-44' (I uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	Kontrola	Cd 3 (I)	Cd 6 (I)
% Epidermisa	1,53 ± 0,10 (25,5) b	1,95 ± 0,09 (18,7) a	1,87 ± 0,08 (17,5) a
% Primarne kore	7,04 ± 0,35 (19,1) b	12,7 ± 0,58 (17,7) a	8,05 ± 0,47 (22,5) a
% Sekundarnog floema	10,1 ± 0,24 (9,30) b	8,65 ± 7,50 (0,17) c	11,4 ± 0,40 (13,7) a
% Sekundarnog ksilema	35,6 ± 6,47 (0,60) ab	33,5 ± 0,71 (8,21) b	37,3 ± 1,22 (12,6) a
Odnos ksilem/floem	3,55 ± 0,13 (14,3) ab	3,89 ± 0,12 (12,0) a	3,35 ± 0,19 (22,0) b
% Srži	45,7 ± 0,47 (4,00) a	43,2 ± 0,72 (6,43) a	41,4 ± 0,80 (7,48) a
% Traheja u ksilemu	6,70 ± 0,42 (24,1) b	11,1 ± 0,87 (30,3) a	6,65 ± 0,70 (40,9) b
Broj traheja po mm ² ksilema	122 ± 3,01 (9,56) b	130 ± 3,66 (10,9) b	152 ± 2,05 (5,23) a
Prosječna površina traheja	831 ± 12,0 (25,7) a	843 ± 13,9 (30,2) a	838 ± 19,5 (42,3) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,28 ± 0,01 (17,8) b	0,40 ± 0,07 (65,2) a	0,33 ± 0,03 (32,9) ab
V_i	0,13 ± 0,01 (12,0) a	0,13 ± 0,01 (15,3) a	0,11 ± 0,01 (8,82) b
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	87,5 ± 2,16 (9,55) b	96,3 ± 2,82 (11,3) b	105 ± 2,12 (7,84) a
Površina pojedinačnih traheja	916 ± 12,0 (28,5) a	919 ± 18,0 (42,8) a	907 ± 23,7 (55,5) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	3,70 ± 0,24 (25,0) b	6,07 ± 0,50 (32,1) a	3,61 ± 0,41 (44,4) b
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	34,5 ± 2,51 (28,2) b	33,3 ± 2,30 (26,3) b	46,9 ± 1,74 (14,4) a
Površina jedne grupisane traheje	746 ± 15,4 (29,7) a	767 ± 19,2 (38,0) a	769 ± 19,5 (38,7) a
% Grupisanih traheja u ksilemu	3,00 ± 0,19 (24,8) b	5,02 ± 0,43 (33,0) a	3,04 ± 0,32 (40,3) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	18,0 ± 1,11 (23,9) a	17,0 ± 1,00 (22,9) a	17,8 ± 0,95 (20,6) a
Broj traheja u jednoj grupi	1,98 ± 0,18 (34,8) a	2,09 ± 0,23 (42,9) a	2,61 ± 0,10 (14,8) a
V_g	1,16 ± 0,02 (7,06) a	1,15 ± 0,03 (8,90) a	1,23 ± 0,01 (3,94) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P38. Anatomske karaktere izbojaka *Salix viminalis* klon 'SV068' (I uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	Kontrola	Cd 3 (I)	Cd 6 (I)
% Epidermisa	1,86 ± 0,18 (36,7) a	1,76 ± 0,16 (35,2) a	1,62 ± 0,17 (40,0) a
% Primarne kore	8,22 ± 0,47 (22,2) b	9,67 ± 0,69 (27,5) a	8,63 ± 0,35 (15,7) b
% Sekundarnog floema	9,75 ± 0,49 (19,5) a	9,58 ± 0,39 (15,7) a	10,7 ± 0,81 (29,2) a
% Sekundarnog ksilema	27,7 ± 1,11 (15,5) a	26,7 ± 0,96 (13,9) a	28,7 ± 0,80 (10,9) a
Odnos ksilem/floem	2,94 ± 0,18 (23,1) a	2,90 ± 0,21 (28,0) a	2,89 ± 0,24 (31,7) a
% Srži	52,4 ± 1,32 (9,79) a	52,3 ± 0,86 (6,34) a	50,3 ± 1,14 (8,75) a
% Traheja u ksilemu	13,4 ± 1,68 (48,3) b	18,4 ± 2,14 (45,1) a	13,1 ± 1,04 (30,8) b
Broj traheja po mm ² ksilema	130 ± 3,75 (11,1) a	83,3 ± 3,94 (18,3) b	81,9 ± 3,77 (17,8) b
Prosječna površina traheja	848 ± 13,3 (29,0) a	797 ± 19,3 (39,6) a	644 ± 20,1 (33,5) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,28 ± 0,02 (25,5) a	0,16 ± 0,01 (33,1) b	0,11 ± 0,01 (28,0) c
V_i	0,13 ± 0,01 (13,7) b	0,20 ± 0,01 (19,3) a	0,18 ± 0,01 (21,6) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	90,1 ± 3,68 (15,8) a	52,0 ± 3,00 (22,3) b	54,0 ± 3,04 (21,8) b
Površina pojedinačnih traheja	905 ± 20,1 (47,1) a	879 ± 17,1 (38,8) a	696 ± 18,9 (34,0) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	7,23 ± 0,94 (40,5) b	10,2 ± 1,17 (44,7) a	7,10 ± 1,20 (31,8) b
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	40,3 ± 2,01 (19,4) a	31,3 ± 1,86 (23,0) a	27,9 ± 1,61 (22,3) b
Površina jedne grupisane traheje	792 ± 14,8 (30,2) a	715 ± 26,6 (49,0) a	593 ± 24,0 (36,7) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	6,21 ± 0,77 (48,1) b	8,20 ± 1,04 (49,4) a	6,00 ± 0,50 (32,0) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	16,4 ± 1,02 (24,0) a	14,1 ± 0,52 (14,3) b	13,0 ± 0,47 (13,9) b
Broj traheja u jednoj grupi	2,49 ± 0,08 (13,0) a	2,23 ± 0,11 (18,6) a	2,14 ± 0,08 (14,4) a
V_g	1,23 ± 0,01 (4,44) a	1,26 ± 0,02 (6,80) a	1,23 ± 0,02 (6,59) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P39. Anatomske karaktere izbojaka *Salix matsudana* klon 'SM4041' (I uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	Kontrola	Cd 3 (I)	Cd 6 (I)
% Epidermisa	1,44 ± 0,07 (19,1) a	1,40 ± 0,09 (24,5) a	1,60 ± 0,09 (21,9) a
% Primarne kore	9,73 ± 0,40 (15,7) a	8,01 ± 0,40 (19,4) b	8,75 ± 0,27 (12,1) ab
% Sekundarnog floema	8,57 ± 0,31 (14,0) a	9,11 ± 0,45 (19,3) a	9,00 ± 0,46 (19,8) a
% Sekundarnog ksilema	35,1 ± 1,09 (12,0) a	35,7 ± 1,45 (15,7) a	36,4 ± 1,21 (12,8) a
Odnos ksilema/floem	4,17 ± 0,20 (18,9) a	4,07 ± 0,25 (23,7) a	4,18 ± 0,23 (21,1) a
% Srži	45,2 ± 0,98 (8,40) a	45,7 ± 1,46 (12,4) a	44,2 ± 1,57 (13,8) a
% Traheja u ksilemu	8,12 ± 0,52 (25,0) a	6,90 ± 0,61 (34,1) a	6,87 ± 0,71 (40,0) a
Broj traheja po mm ² ksilema	168 ± 5,23 (12,1) a	184 ± 5,58 (11,7) a	131 ± 6,17 (18,3) b
Prosječna površina traheja	637 ± 19,9 (32,7) b	684 ± 34,4 (19,5) ab	740 ± 23,3 (44,5) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,21 ± 0,01 (27,2) a	0,24 ± 0,02 (31,7) a	0,23 ± 0,03 (45,0) a
V_i	0,09 ± 0,01 (17,8) b	0,08 ± 0,01 (15,4) b	0,12 ± 0,01 (26,7) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	99,3 ± 4,40 (17,2) a	112 ± 5,00 (17,2) a	87,4 ± 4,11 (18,2) a
Površina pojedinačnih traheja	704 ± 18,5 (33,6) a	727 ± 33,1 (17,6) a	767 ± 27,3 (54,1) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	4,47 ± 0,27 (23,2) a	3,71 ± 0,35 (36,6) a	3,55 ± 0,40 (43,0) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	68,5 ± 1,90 (10,9) a	71,5 ± 2,52 (13,7) a	43,3 ± 3,00 (26,8) b
Površina jedne grupisane traheje	571 ± 33,3 (22,6) b	642 ± 22,7 (37,6) ab	713 ± 23,0 (42,4) a
% Grupisanih traheja u ksilemu	3,65 ± 0,26 (28,0) a	3,19 ± 0,26 (31,9) a	3,32 ± 0,34 (40,1) a
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	28,9 ± 0,66 (8,87) a	32,7 ± 1,37 (16,3) a	19,0 ± 1,27 (25,9) b
Broj traheja u jednoj grupi	2,38 ± 0,06 (9,92) a	2,21 ± 0,04 (6,42) a	2,32 ± 0,11 (17,9) a
V_g	1,31 ± 0,01 (3,60) a	1,27 ± 0,01 (3,63) a	1,23 ± 0,02 (5,60) b

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P40. Anatomske karaktere izbojaka *Salix alba* klon 'B-44' (II uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	Kontrola	Cd 3 (II)	Cd 6 (II)
% Epidermisa	2,67 ± 0,16 (22,9) a	1,85 ± 0,08 (16,4) a	2,00 ± 0,09 (17,2) a
% Primarne kore	11,3 ± 0,51 (17,7) c	13,0 ± 0,87 (25,8) b	16,2 ± 0,83 (19,8) a
% Sekundarnog floema	6,97 ± 0,58 (32,4) a	7,29 ± 0,32 (17,1) a	6,33 ± 0,34 (20,7) a
% Sekundarnog ksilema	44,8 ± 2,82 (24,4) a	41,7 ± 2,29 (21,3) a	35,9 ± 1,72 (18,5) a
Odnos ksilema/floem	7,54 ± 0,95 (48,6) a	6,01 ± 0,56 (36,1) a	6,08 ± 0,58 (37,1) a
% Srži	34,2 ± 1,89 (21,5) a	36,3 ± 1,79 (19,2) a	39,6 ± 0,83 (8,12) a
% Traheja u ksilemu	6,52 ± 0,82 (48,7) a	5,64 ± 0,52 (35,7) ab	4,45 ± 0,41 (35,3) b
Broj traheja po mm ² ksilema	128 ± 5,96 (18,0) a	94,3 ± 7,76 (31,9) b	143 ± 12,6 (34,2) a
Prosječna površina traheja	913 ± 12,6 (29,6) a	747 ± 14,5 (27,9) b	726 ± 19,6 (10,5) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,39 ± 0,04 (42,6) a	0,28 ± 0,04 (52,7) b	0,43 ± 0,07 (67,2) a
V_i	0,25 ± 0,01 (18,9) c	0,34 ± 0,03 (28,9) b	0,42 ± 0,03 (29,4) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	76,9 ± 2,58 (13,0) b	59,5 ± 5,08 (33,1) c	102 ± 10,5 (40,0) a
Površina pojedinačnih traheja	1017 ± 15,4 (40,5) a	796 ± 14,8 (30,5) b	819 ± 16,1 (34,1) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	3,75 ± 0,28 (35,1) a	2,94 ± 0,35 (46,1) a	2,70 ± 0,28 (41,0) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	51,4 ± 3,55 (26,7) a	34,7 ± 3,74 (41,7) b	40,5 ± 2,81 (26,9) b
Površina jedne grupisane traheje	808 ± 13,2 (27,5) a	697 ± 15,5 (27,9) b	632 ± 13,8 (22,5) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	3,57 ± 0,47 (51,4) a	2,60 ± 0,25 (37,3) ab	1,76 ± 0,29 (48,1) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	24,4 ± 1,65 (26,2) a	17,7 ± 1,98 (43,4) ab	14,4 ± 0,85 (22,8) b
Broj traheja u jednoj grupi	2,14 ± 0,08 (14,1) a	2,01 ± 0,06 (12,4) a	2,83 ± 0,12 (16,9) a
V_g	1,22 ± 0,02 (6,14) a	1,22 ± 0,02 (7,51) a	1,13 ± 0,01 (2,33) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P41. Anatomske karaktere izbojaka *Salix viminalis* klon 'SV068' (II uzorak pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	Kontrola	Cd 3 (II)	Cd 6 (II)
% Epidermisa	2,44 ± 0,14 (21,7) a	1,84 ± 0,12 (24,3) a	2,38 ± 0,22 (36,2) a
% Primarne kore	12,7 ± 0,77 (23,6) a	13,2 ± 0,65 (19,2) a	15,1 ± 1,00 (25,6) a
% Sekundarnog floema	6,15 ± 0,49 (30,7) a	4,84 ± 0,30 (23,6) b	5,72 ± 0,41 (28,1) ab
% Sekundarnog ksilema	40,8 ± 2,97 (28,2) a	28,7 ± 1,85 (24,9) b	27,0 ± 1,74 (24,9) b
Odnos ksilema/floem	7,52 ± 0,95 (48,9) a	6,50 ± 0,72 (42,7) ab	5,19 ± 0,53 (39,3) b
% Srži	37,9 ± 2,02 (20,7) b	51,4 ± 1,06 (8,01) a	49,7 ± 0,81 (6,32) a
% Traheja u ksilemu	7,13 ± 1,78 (33,7) a	5,36 ± 1,84 (42,7) b	5,56 ± 2,31 (33,6) b
Broj traheja po mm ² ksilema	168 ± 12,7 (29,1) a	125 ± 3,47 (10,8) b	119 ± 4,28 (14,0) b
Prosječna površina traheja	761 ± 12,9 (25,4) a	754 ± 12,5 (24,2) a	787 ± 11,6 (23,6) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,28 ± 0,03 (45,7) a	0,29 ± 0,08 (10,5) a	0,23 ± 0,03 (44,0) a
V_i	0,18 ± 0,01 (21,9) b	0,25 ± 0,01 (12,0) a	0,26 ± 0,04 (40,3) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	107 ± 5,45 (19,7) a	82,5 ± 3,37 (15,9) b	81,5 ± 2,99 (14,2) b
Površina pojedinačnih traheja	805 ± 13,5 (28,1) a	844 ± 14,4 (31,45) a	883 ± 12,9 (29,5) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	5,50 ± 0,70 (38,6) a	3,00 ± 1,10 (33,7) b	3,23 ± 0,68 (35,8) b
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	61,1 ± 7,42 (47,0) a	42,1 ± 1,15 (10,6) b	37,1 ± 1,75 (18,2) b
Površina jedne grupisane traheje	723 ± 18,3 (34,1) a	664 ± 15,8 (27,0) a	691 ± 19,6 (35,1) a
% Grupisanih traheja u ksilemu	4,93 ± 1,21 (44,3) a	2,63 ± 0,64 (33,4) b	2,00 ± 0,83 (36,4) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	31,2 ± 3,76 (46,7) a	20,9 ± 1,05 (19,4) b	16,3 ± 1,14 (26,9) b
Broj traheja u jednoj grupi	1,97 ± 0,07 (13,5) a	2,05 ± 0,06 (11,3) a	2,34 ± 0,11 (18,4) a
V_g	1,20 ± 0,01 (4,72) a	1,21 ± 0,02 (4,92) a	1,15 ± 0,01 (4,06) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P42. Anatomske karaktere izbojaka *Salix matsudana* klon 'SM4041' (II uzorak pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	Kontrola	Cd 3 (II)	Cd 6 (II)
% Epidermisa	2,74 ± 0,12 (17,6) a	1,91 ± 0,05 (9,76) a	2,02 ± 0,09 (17,3) a
% Primarne kore	9,30 ± 0,52 (21,7) c	11,2 ± 0,31 (10,8) b	13,3 ± 0,43 (12,4) a
% Sekundarnog floema	5,70 ± 0,34 (23,3) a	6,50 ± 0,17 (10,0) a	6,00 ± 0,21 (13,6) a
% Sekundarnog ksilema	50,7 ± 2,41 (18,4) a	44,0 ± 2,39 (21,1) ab	40,0 ± 0,79 (7,64) b
Odnos ksilema/floem	9,72 ± 1,02 (40,6) a	6,93 ± 0,52 (28,8) b	6,90 ± 0,41 (22,8) b
% Srži	31,6 ± 1,72 (21,1) a	36,7 ± 2,02 (21,4) a	38,7 ± 0,57 (5,75) a
% Traheja u ksilemu	5,78 ± 1,83 (40,0) a	6,71 ± 1,73 (33,3) a	5,50 ± 0,87 (35,8) a
Broj traheja po mm ² ksilema	149 ± 8,66 (22,5) a	114 ± 4,35 (14,7) b	105 ± 6,92 (25,4) b
Prosječna površina traheja	958 ± 11,0 (27,2) a	951 ± 19,3 (47,5) a	792 ± 7,97 (16,3) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,45 ± 0,02 (19,1) a	0,46 ± 0,05 (38,5) a	0,34 ± 0,01 (16,6) b
V_i	0,23 ± 0,01 (21,1) b	0,30 ± 0,01 (11,0) ab	0,34 ± 0,03 (30,8) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	86,7 ± 3,92 (17,5) a	72,2 ± 4,16 (22,3) b	72,0 ± 4,89 (26,3) b
Površina pojedinačnih traheja	1107 ± 19,5 (55,6) a	922 ± 20,7 (49,2) b	817 ± 13,5 (28,5) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	3,05 ± 1,21 (41,6) a	3,73 ± 0,89 (35,5) a	3,74 ± 0,66 (22,9) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	62,2 ± 4,98 (31,0) a	41,9 ± 1,59 (14,7) b	33,5 ± 1,97 (33,2) c
Površina jedne grupisane traheje	809 ± 12,6 (26,4) b	981 ± 19,1 (48,4) a	767 ± 13,0 (25,8) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	3,58 ± 1,22 (40,2) a	3,11 ± 0,71 (42,2) a	2,20 ± 0,93 (37,3) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	30,3 ± 1,42 (18,1) a	21,7 ± 0,69 (12,4) a	15,0 ± 0,80 (20,8) b
Broj traheja u jednoj grupi	2,01 ± 0,08 (15,6) a	1,93 ± 0,05 (9,41) a	2,23 ± 0,07 (12,5) a
V_g	1,26 ± 0,02 (6,46) a	1,23 ± 0,02 (6,97) a	1,21 ± 0,01 (2,72) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P43. Anatomske karakteristike izbojaka *Salix alba* klon 'B-44' (III uzorak) pod utjecajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike izbojaka	Kontrola	Cd 3 (III)	Cd 6 (III)
% Epidermisa	5,02 ± 0,16 (12,1) a	3,43 ± 0,11 (12,3) b	3,97 ± 0,29 (27,8) b
% Primarne kore	9,02 ± 0,50 (21,7) c	11,3 ± 0,35 (12,0) b	13,4 ± 0,46 (13,2) a
% Sekundarnog floema	5,30 ± 0,30 (21,8) a	6,29 ± 0,17 (10,4) a	5,82 ± 0,18 (12,3) a
% Sekundarnog ksilema	48,2 ± 2,30 (18,9) a	43,5 ± 2,24 (19,9) a	39,3 ± 0,77 (7,57) a
Odnos ksilema/floem	9,87 ± 1,00 (39,1) a	7,09 ± 0,52 (28,2) b	6,92 ± 0,38 (21,2) b
% Srži	30,6 ± 1,34 (17,0) a	36,1 ± 1,77 (19,0) a	37,5 ± 0,48 (4,97) a
% Traheja u ksilemu	7,75 ± 1,82 (34,5) a	5,11 ± 1,73 (37,7) b	5,23 ± 1,66 (36,4) b
Broj traheja po mm ² ksilema	158 ± 8,81 (21,6) a	108 ± 4,48 (16,1) b	107 ± 8,46 (30,6) b
Prosječna površina traheja	1014 ± 15,0 (39,3) a	915 ± 14,2 (33,6) a	836 ± 10,3 (22,3) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,39 ± 0,03 (28,5) a	0,39 ± 0,02 (23,2) a	0,31 ± 0,01 (17,6) a
V_i	0,24 ± 0,01 (18,9) b	0,32 ± 0,01 (11,6) a	0,33 ± 0,02 (28,7) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	88,9 ± 3,91 (17,0) a	72,3 ± 3,22 (17,3) b	68,9 ± 5,28 (29,7) b
Površina pojedinačnih traheja	1262 ± 26,6 (86,8) a	1005 ± 15,2 (39,5) b	911 ± 12,7 (29,8) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	3,63 ± 1,16 (35,3) a	3,86 ± 0,74 (37,5) a	3,75 ± 1,11 (36,6) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	68,9 ± 5,15 (29,0) a	35,3 ± 1,88 (20,6) b	38,2 ± 3,40 (34,5) b
Površina jedne grupisane traheje	766 ± 15,6 (30,9) a	825 ± 15,0 (31,9) a	761 ± 14,5 (28,5) a
% Grupisanih traheja u ksilemu	5,61 ± 1,18 (33,6) a	3,51 ± 0,65 (30,2) b	2,63 ± 1,05 (27,8) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	31,3 ± 1,42 (17,5) a	20,7 ± 0,69 (13,0) b	19,9 ± 2,07 (40,4) c
Broj traheja u jednoj grupi	2,16 ± 0,08 (14,4) a	1,70 ± 0,06 (14,0) a	1,98 ± 0,07 (13,0) a
V_g	1,30 ± 0,02 (6,26) a	1,17 ± 0,02 (7,55) a	1,18 ± 0,02 (6,36) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P44. Anatomske karakteristike izbojaka *Salix viminalis* klon 'SV068' (III uzorak) pod utjecajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike izbojaka	Kontrola	Cd 3 (III)	Cd 6 (III)
% Epidermisa	5,43 ± 0,31 (22,2) a	4,36 ± 0,32 (28,4) b	4,41 ± 0,21 (18,2) b
% Primarne kore	10,1 ± 0,36 (13,8) a	11,9 ± 0,30 (9,77) a	13,7 ± 0,71 (20,1) a
% Sekundarnog floema	5,04 ± 0,18 (13,9) a	4,25 ± 0,16 (14,9) a	5,34 ± 0,21 (15,6) a
% Sekundarnog ksilema	45,4 ± 2,12 (18,1) a	34,5 ± 0,75 (8,47) b	31,6 ± 0,98 (12,1) b
Odnos ksilema/floem	9,34 ± 0,72 (30,0) a	8,31 ± 0,40 (18,9) a	6,12 ± 0,40 (25,6) b
% Srži	33,8 ± 1,60 (18,3) b	45,3 ± 0,77 (6,59) a	44,4 ± 0,98 (8,53) a
% Traheja u ksilemu	9,33 ± 1,77 (32,8) a	5,61 ± 1,45 (33,5) b	5,87 ± 1,42 (32,8) b
Broj traheja po mm ² ksilema	225 ± 6,98 (12,0) a	106 ± 3,09 (11,3) b	106 ± 3,40 (12,4) b
Prosječna površina traheja	987 ± 10,5 (26,8) a	850 ± 5,80 (12,7) b	810 ± 7,80 (16,3) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,47 ± 0,03 (21,9) a	0,30 ± 0,01 (11,4) b	0,28 ± 0,01 (15,4) b
V_i	0,16 ± 0,01 (12,5) b	0,24 ± 0,01 (7,38) a	0,29 ± 0,01 (8,57) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	126 ± 3,02 (9,25) a	71,6 ± 2,21 (12,0) b	77,1 ± 3,47 (17,5) b
Površina pojedinačnih traheja	1102 ± 12,8 (36,5) a	936 ± 7,34 (17,7) b	877 ± 11,3 (25,6) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	5,73 ± 1,25 (33,2) a	3,65 ± 1,14 (34,4) b	4,22 ± 1,20 (33,6) b
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	99,1 ± 4,31 (16,8) a	34,1 ± 1,11 (12,6) b	29,0 ± 0,86 (11,5) b
Površina jedne grupisane traheje	872 ± 12,0 (26,9) a	764 ± 7,23 (14,2) b	743 ± 11,1 (21,2) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	4,65 ± 1,67 (38,1) a	2,15 ± 1,19 (37,4) b	2,00 ± 1,54 (35,1) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	45,7 ± 2,38 (20,2) a	19,1 ± 0,79 (16,0) b	14,1 ± 0,46 (12,7) c
Broj traheja u jednoj grupi	2,19 ± 0,05 (8,35) a	1,79 ± 0,03 (6,31) a	2,08 ± 0,07 (13,8) a
V_g	1,31 ± 0,01 (3,10) a	1,17 ± 0,01 (1,55) a	1,17 ± 0,01 (4,29) a

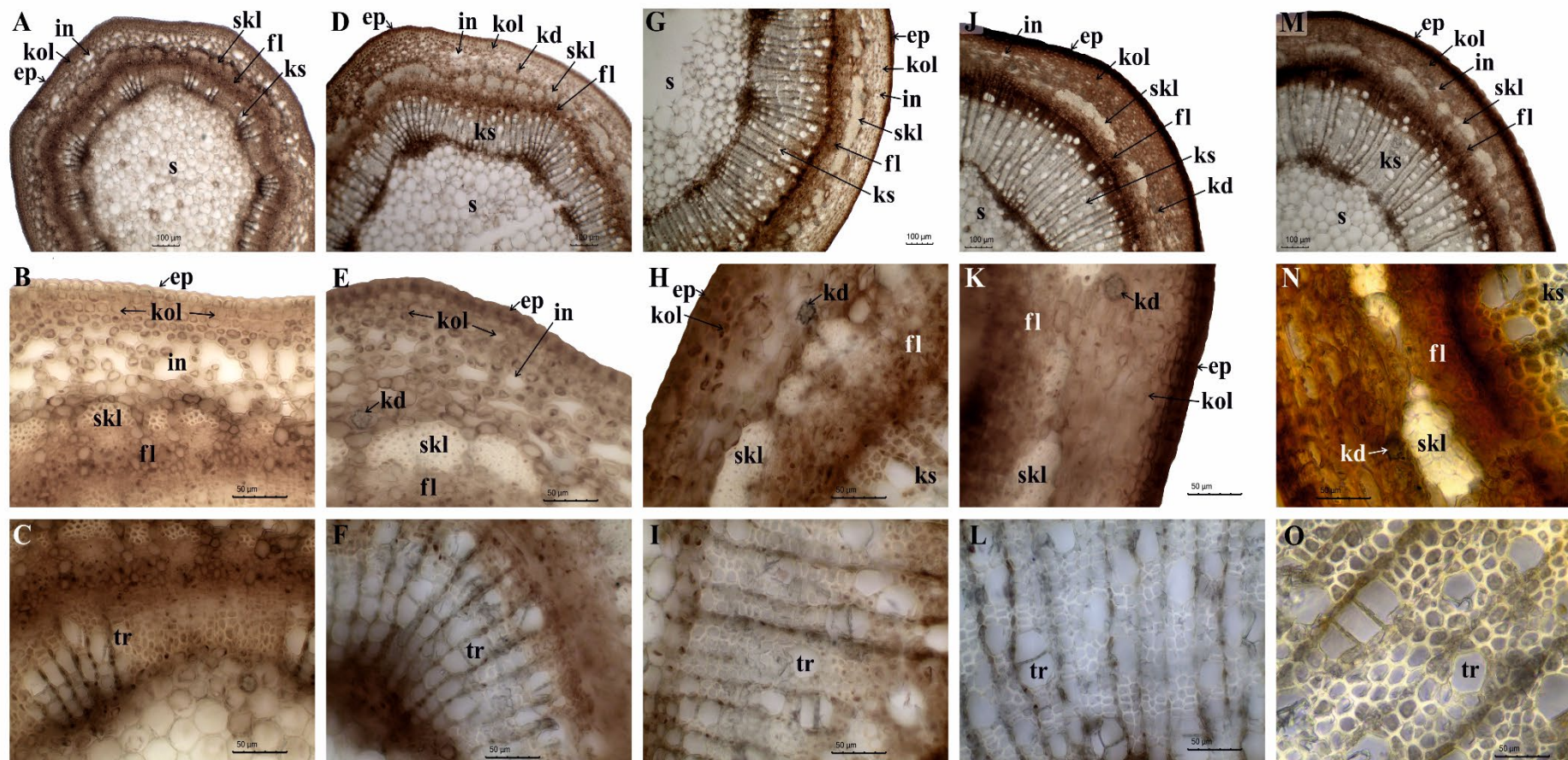
*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P45. Anatomske karakteristike izbojaka *Salix matsudana* klon 'SM4041' (III uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

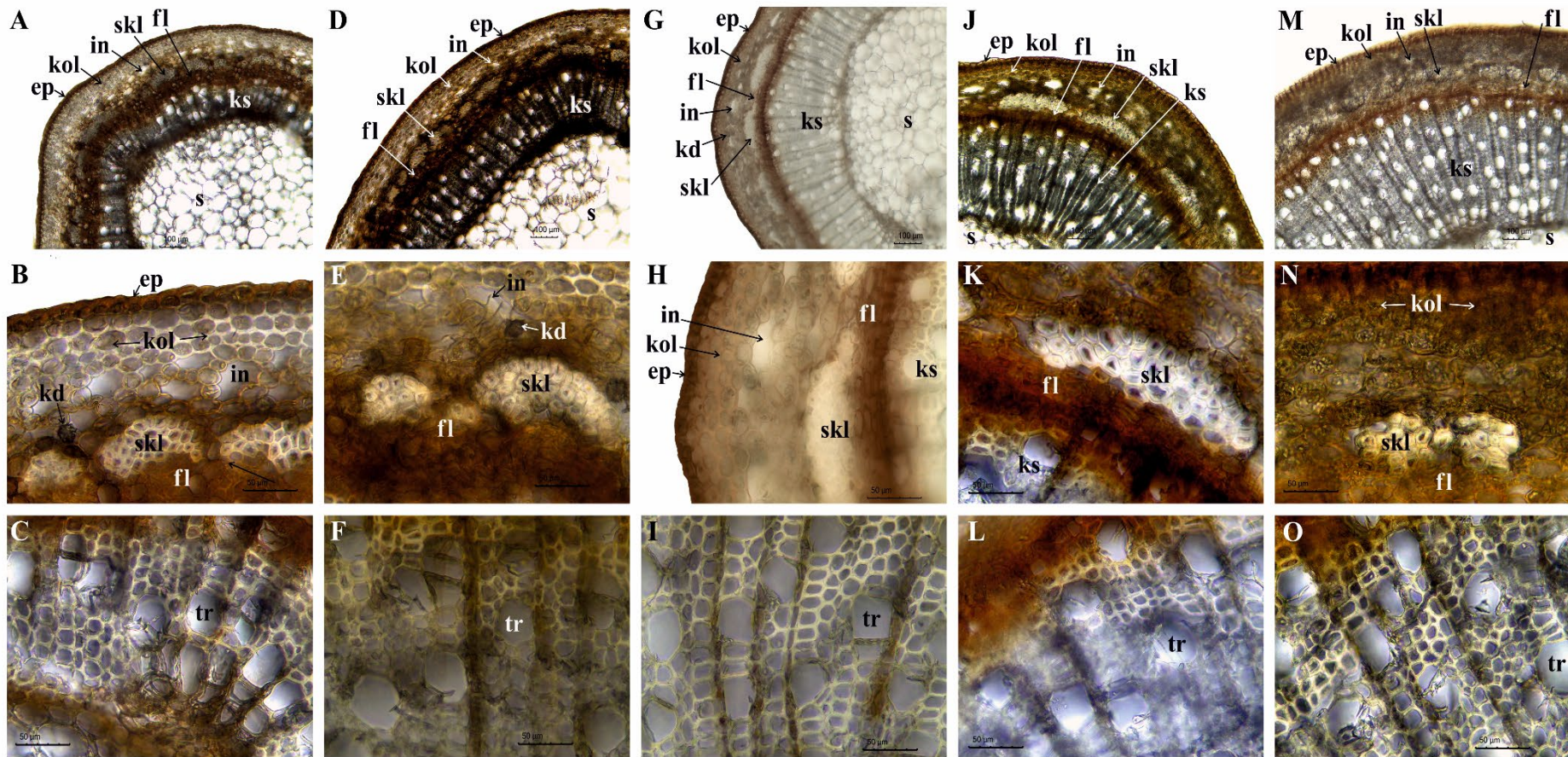
Anatomske karakteristike izbojaka	Kontrola	Cd 3 (III)	Cd 6 (III)
% Epidermisa	5,59 ± 0,39 (27,1) a	4,21 ± 0,57 (52,2) b	5,12 ± 0,35 (27,4) ab
% Primarne kore	10,6 ± 0,87 (31,8) b	16,5 ± 1,05 (24,8) a	10,2 ± 0,90 (35,6) b
% Sekundarnog floema	6,25 ± 0,50 (31,0) a	5,68 ± 0,56 (38,1) a	6,49 ± 0,77 (47,5) a
% Sekundarnog ksilema	46,0 ± 2,31 (19,4) a	33,7 ± 1,75 (20,2) b	19,7 ± 1,50 (30,4) c
Odnos ksilema/floem	8,24 ± 0,87 (40,8) a	6,69 ± 0,64 (36,8) b	3,66 ± 0,41 (45,3) c
% Srži	31,2 ± 1,27 (15,7) a	39,8 ± 1,23 (12,0) a	33,3 ± 3,42 (41,0) a
% Traheja u ksilemu	8,44 ± 1,62 (35,4) a	6,42 ± 1,78 (38,9) b	6,56 ± 1,92 (37,0) b
Broj traheja po mm ² ksilema	205 ± 10,6 (20,1) a	135 ± 6,00 (17,1) b	134 ± 5,32 (16,0) b
Prosječna površina traheja	1044 ± 48,0 (17,8) a	789 ± 9,02 (18,4) b	793 ± 19,5 (9,81) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,39 ± 0,02 (18,2) a	0,26 ± 0,01 (20,7) b	0,28 ± 0,01 (20,7) b
V_i	0,19 ± 0,00 (9,91) a	0,24 ± 0,02 (22,3) a	0,29 ± 0,04 (30,6) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	121 ± 6,74 (21,5) a	82,0 ± 2,76 (13,0) b	83,0 ± 3,48 (16,8) b
Površina pojedinačnih traheja	1160 ± 17,6 (52,6) a	862 ± 9,99 (22,2) b	902 ± 14,3 (32,2) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	5,00 ± 1,75 (41,3) a	3,72 ± 1,65 (38,4) b	4,63 ± 1,74 (38,0) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	83,4 ± 3,89 (18,1) a	52,7 ± 3,50 (25,6) b	50,6 ± 2,71 (21,4) b
Površina jedne grupisane traheje	929 ± 18,7 (45,0) a	717 ± 11,3 (21,0) b	685 ± 9,16 (15,7) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	3,47 ± 1,14 (39,6) a	2,75 ± 1,36 (36,6) a	3,22 ± 1,57 (37,5) a
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	39,5 ± 2,54 (24,9) a	26,4 ± 1,46 (21,4) b	25,9 ± 1,42 (22,0) b
Broj traheja u jednoj grupi	2,15 ± 0,04 (7,94) a	1,98 ± 0,05 (10,6) a	1,96 ± 0,04 (9,21) a
V_g	1,28 ± 0,01 (2,67) a	1,24 ± 0,01 (4,39) a	1,23 ± 0,01 (4,20) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

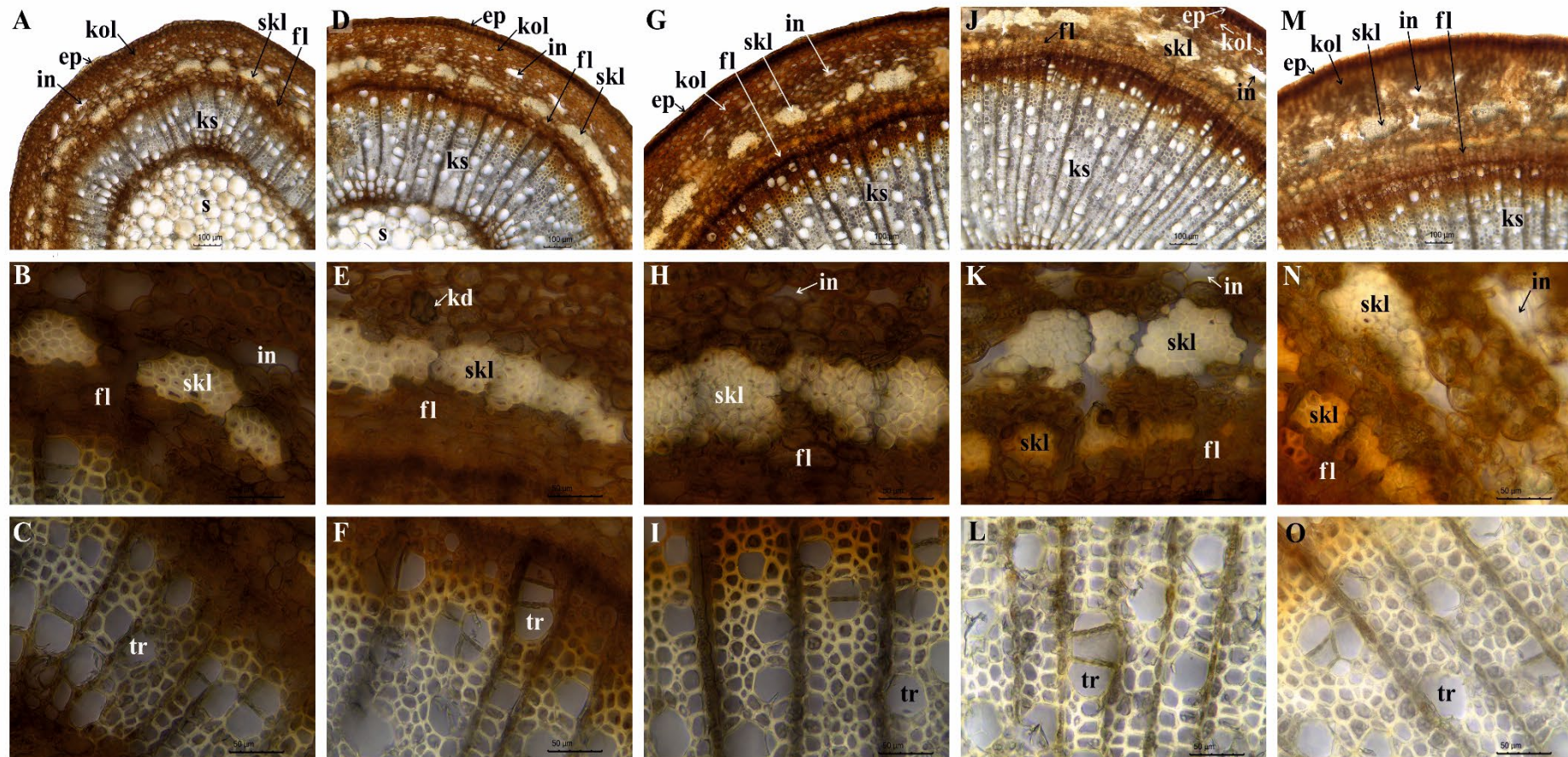
9.9. Promjene anatomskih osobina izbojaka klonova vrba tretiranih Cd u prisustvu limunske kiseline



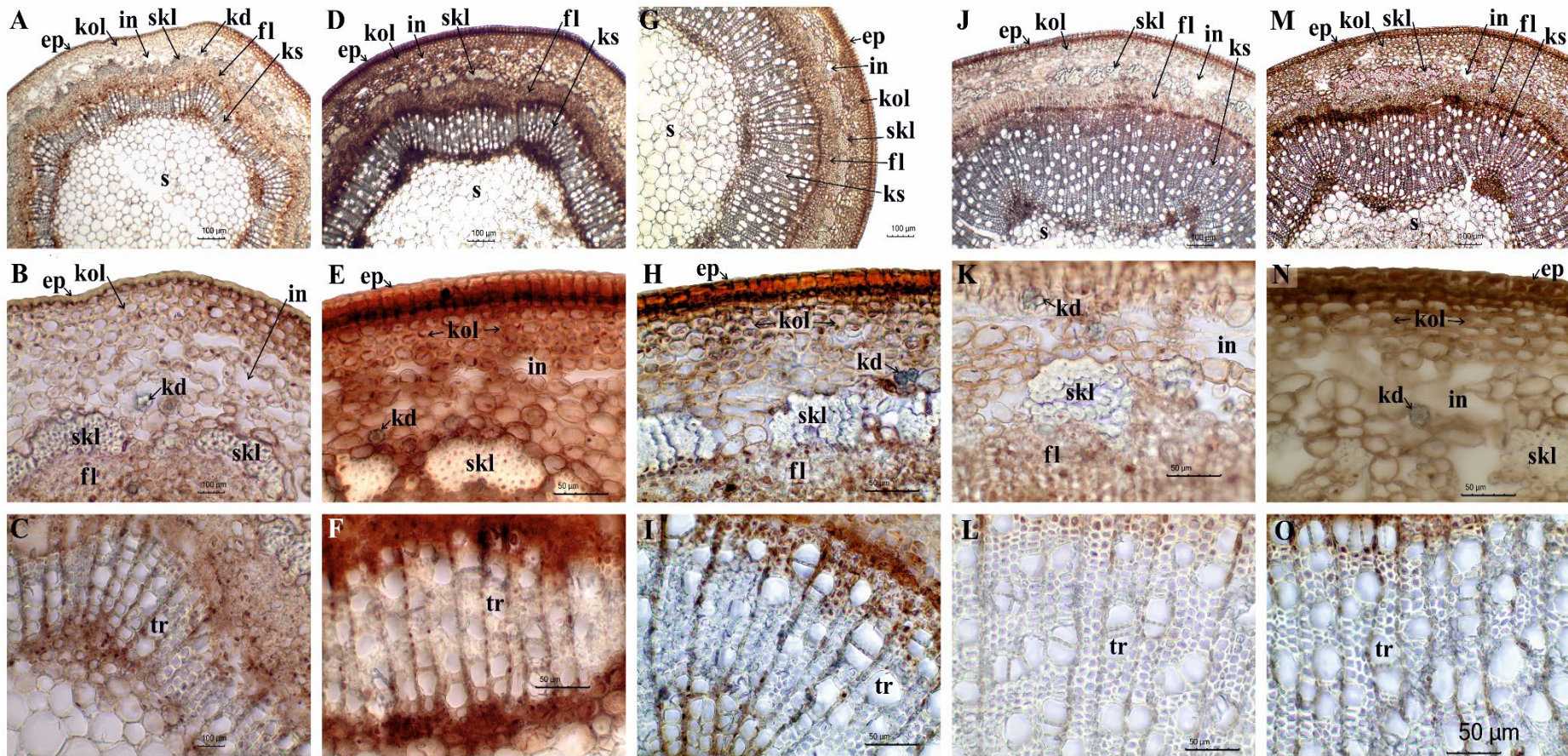
Slika P20. Anatomska građa izbojka *Salix alba* klon 'B-44', gajenog u prisustvu Cd 3+L. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druzna, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



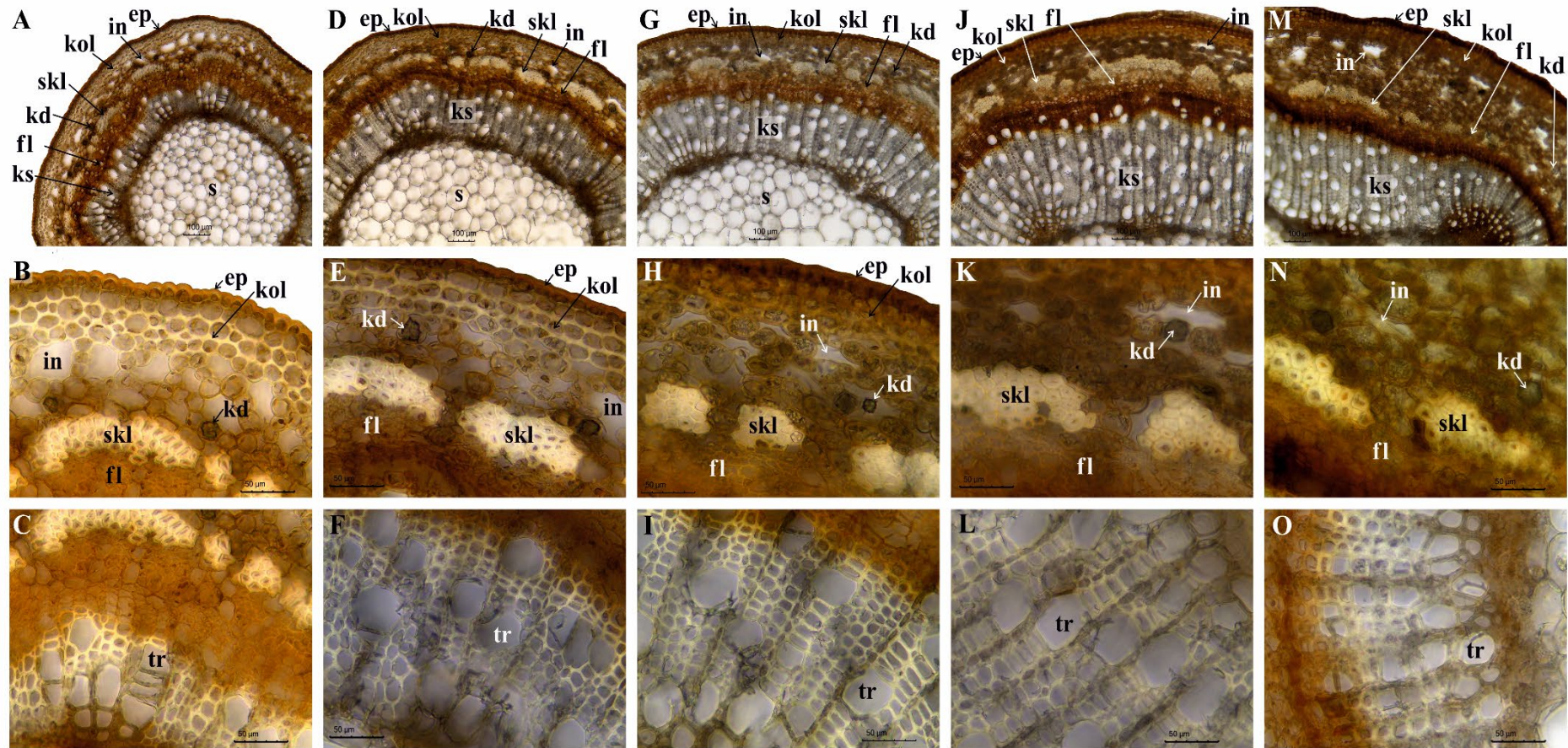
Slika P21. Anatomna građa izbojka *Salix viminalis* klon 'SV068', gajenog u prisustvu Cd 3+L. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druza, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



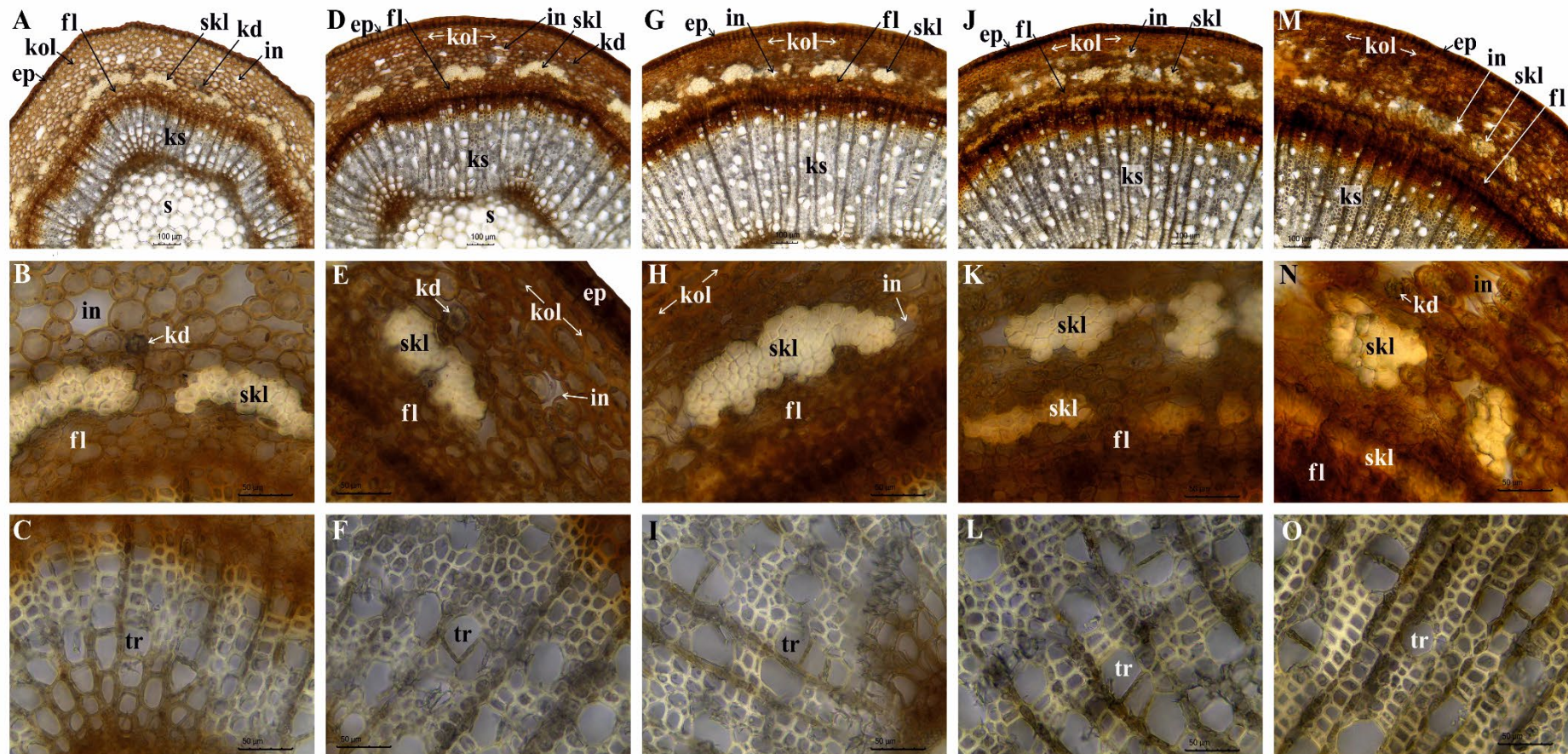
Slika P22. Anatomska građa izbojka *Salix matsudana* klon 'SM4041', gajenog u prisustvu Cd 3+L. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druzna, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



Slika P23. Anatomska građa izbojka *Salix alba* klon 'B-44', gajenog u prisustvu Cd 6+L. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druzna, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



Slika P24. Anatomska građa izbojka *Salix viminalis* klon 'SV068', gajenog u prisustvu Cd 6+L. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druza, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.



Slika P25. Anatomska građa izbojka *Salix matsudana* klon 'SM4041', gajenog u prisustvu Cd 6+L. A-C segment 1 (najmlađi, vršni dio izbojka), D-F segment 2, G-I segment 3, J-L segment 4, M-O segment 5 (bazalni dio izbojka). Oznake: ep – epidermis, in – intercelulari primarne kore, kd – kristalna druzna, kol – kolenhim, skl – sklerenhim, fl – floem, ks – ksilem, s – srž, tr – traheje.

Tabela P46. Anatomske karaktere izbojaka *Salix alba* klon 'B-44' (I uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	L	Cd 3+L (I)	Cd 6+L (I)
% Epidermisa	2,00 ± 0,11 (20,8) a	1,86 ± 0,11 (21,8) a	1,88 ± 0,13 (25,9) a
% Primarne kore	9,65 ± 0,58 (23,1) b	11,1 ± 1,28 (44,6) a	11,8 ± 0,83 (27,5) a
% Sekundarnog floema	10,7 ± 0,43 (15,4) a	10,9 ± 0,47 (16,6) a	9,63 ± 0,64 (25,8) a
% Sekundarnog ksilema	32,0 ± 0,67 (8,09) a	31,1 ± 1,01 (12,5) a	31,4 ± 1,18 (14,6) a
Odnos ksilem/floem	3,03 ± 0,10 (12,7) a	2,90 ± 0,11 (14,8) b	3,49 ± 0,30 (33,4) a
% Srži	45,6 ± 1,01 (8,61) a	45,0 ± 1,10 (9,42) a	45,4 ± 1,28 (11,0) a
% Traheja u ksilemu	6,12 ± 1,95 (32,0) b	6,46 ± 1,93 (33,1) b	7,74 ± 2,14 (35,5) a
Broj traheja po mm ² ksilema	133 ± 6,08 (17,7) a	133 ± 4,84 (14,1) a	162 ± 8,25 (19,7) a
Prosječna površina traheja	703 ± 14,6 (8,06) a	712 ± 14,4 (7,84) a	611 ± 20,9 (13,3) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,32 ± 0,03 (34,1) a	0,30 ± 0,02 (21,2) a	0,29 ± 0,02 (28,8) a
V_i	0,23 ± 0,01 (19,0) a	0,23 ± 0,01 (14,1) a	0,18 ± 0,01 (17,2) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	87,7 ± 4,81 (21,2) b	87,5 ± 3,82 (16,9) b	110 ± 4,73 (16,7) a
Površina pojedinačnih traheja	816 ± 28,6 (13,6) a	801 ± 23,0 (11,1) a	732 ± 28,5 (15,1) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	5,13 ± 1,28 (34,1) b	5,61 ± 1,15 (35,2) b	6,65 ± 1,68 (36,2) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	45,3 ± 3,10 (26,5) a	45,5 ± 1,85 (15,7) a	52,1 ± 4,20 (31,2) a
Površina jedne grupisane traheje	590 ± 24,2 (15,9) a	623 ± 16,0 (9,98) a	490 ± 19,6 (15,5) a
% Grupisanih traheja u ksilemu	2,33 ± 1,02 (32,4) a	2,07 ± 1,00 (30,0) a	2,74 ± 1,19 (33,8) a
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	21,3 ± 1,01 (18,4) a	21,1 ± 0,92 (17,0) a	24,0 ± 1,25 (20,1) a
Broj traheja u jednoj grupi	2,10 ± 0,09 (16,8) a	2,18 ± 0,06 (10,7) a	2,16 ± 0,10 (17,7) a
V_g	1,22 ± 0,02 (7,00) a	1,23 ± 0,01 (3,39) a	1,21 ± 0,02 (5,26) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P47. Anatomske karaktere izbojaka *Salix viminalis* klon 'SV068' gajenog na zemljišnoj kulturi (I uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	L	Cd 3+L (I)	Cd 6+L (I)
% Epidermisa	1,48 ± 0,13 (33,6) a	1,61 ± 0,15 (35,8) a	2,19 ± 0,13 (22,8) a
% Primarne kore	11,4 ± 0,70 (23,9) b	14,7 ± 0,98 (25,8) a	16,3 ± 0,63 (14,9) a
% Sekundarnog floema	4,22 ± 0,22 (20,6) b	4,45 ± 0,27 (23,4) ab	5,25 ± 0,36 (26,3) a
% Sekundarnog ksilema	33,7 ± 0,32 (3,65) a	35,3 ± 1,29 (14,1) a	25,3 ± 1,07 (16,4) a
Odnos ksilem/floem	8,37 ± 0,51 (23,6) a	8,31 ± 0,53 (24,9) a	5,15 ± 0,40 (30,1) b
% Srži	49,2 ± 0,89 (7,01) a	44,0 ± 1,79 (15,7) a	51,0 ± 0,70 (5,33) a
% Traheja u ksilemu	5,26 ± 1,18 (37,5) b	5,94 ± 1,20 (39,4) b	7,04 ± 1,39 (38,7) a
Broj traheja po mm ² ksilema	123 ± 6,32 (19,9) b	115 ± 5,63 (19,0) b	141 ± 4,58 (12,6) a
Prosječna površina traheja	1033 ± 15,1 (40,2) a	1003 ± 11,2 (29,0) a	970 ± 12,2 (30,5) a
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,55 ± 0,04 (31,3) a	0,52 ± 0,03 (22,0) a	0,49 ± 0,03 (24,6) a
V_i	0,31 ± 0,02 (20,7) a	0,32 ± 0,01 (14,1) a	0,25 ± 0,01 (8,12) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	74,7 ± 3,73 (19,4) b	75,9 ± 4,41 (22,5) b	86,7 ± 2,83 (12,6) a
Površina pojedinačnih traheja	1137 ± 12,3 (36,2) a	1094 ± 10,6 (29,8) a	1076 ± 11,6 (32,4) a
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	3,92 ± 1,21 (37,7) b	4,35 ± 1,17 (32,2) ab	5,32 ± 1,23 (35,5) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	48,4 ± 3,72 (29,7) a	38,7 ± 1,63 (16,3) b	53,7 ± 1,90 (13,7) a
Površina jedne grupisane traheje	929 ± 20,3 (48,7) a	912 ± 13,4 (31,5) a	863 ± 13,9 (31,0) a
% Grupisanih traheja u ksilemu	2,11 ± 1,11 (31,5) a	1,98 ± 1,05 (36,2) a	2,74 ± 1,20 (34,8) a
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	25,7 ± 2,32 (35,0) a	25,9 ± 1,85 (27,7) a	27,7 ± 1,65 (23,1) a
Broj traheja u jednoj grupi	1,96 ± 0,09 (17,8) a	1,57 ± 0,10 (25,0) a	2,01 ± 0,10 (19,4) a
V_g	1,23 ± 0,01 (3,52) a	1,14 ± 0,02 (7,17) a	1,23 ± 0,01 (4,14) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P48. Anatomske karaktere izbojaka *Salix matsudana* klon 'SM4041' gajenog na zemljišnoj kulturi (I uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	L	Cd 3+L (I)	Cd 6+L (I)
% Epidermisa	1,55 ± 0,08 (21,1) a	1,95 ± 0,21 (42,3) a	1,60 ± 0,10 (23,1) a
% Primarne kore	10,0 ± 0,35 (13,6) b	10,7 ± 0,69 (25,0) b	15,8 ± 0,64 (15,8) a
% Sekundarnog floema	4,34 ± 0,19 (17,0) b	5,94 ± 0,37 (24,2) a	4,48 ± 0,32 (27,8) b
% Sekundarnog ksilema	31,0 ± 1,38 (17,3) b	45,5 ± 2,75 (23,4) a	35,7 ± 1,08 (16,3) b
Odnos ksilema/floem	7,40 ± 0,53 (27,8) a	7,75 ± 0,33 (16,3) a	6,14 ± 0,48 (30,5) b
% Srži	53,1 ± 1,39 (10,2) a	35,9 ± 3,78 (40,7) b	52,4 ± 0,76 (5,62) a
% Traheja u ksilemu	5,30 ± 1,87 (39,8) b	6,75 ± 2,25 (37,3) a	7,24 ± 2,45 (38,5) a
Broj traheja po mm ² ksilema	123 ± 6,13 (19,3) b	95,3 ± 6,08 (24,7) c	153 ± 9,06 (23,0) a
Prosječna površina traheja	912 ± 12,0 (28,2) b	1042 ± 5,75 (15,5) a	838 ± 12,7 (21,0) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,43 ± 0,03 (23,1) b	0,55 ± 0,02 (11,8) a	0,21 ± 0,01 (25,9) c
V_i	0,28 ± 0,01 (16,1) b	0,40 ± 0,02 (21,6) a	0,20 ± 0,01 (24,6) c
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	74,6 ± 3,21 (16,7) b	63,7 ± 4,42 (26,9) c	99,3 ± 5,13 (20,0) a
Površina pojedinačnih traheja	922 ± 14,3 (34,0) b	1020 ± 7,85 (20,7) a	757 ± 16,9 (33,0) c
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	3,86 ± 0,98 (33,8) b	4,20 ± 1,92 (31,2) b	4,95 ± 2,04 (38,5) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	48,3 ± 3,44 (27,6) a	31,7 ± 2,11 (25,8) b	53,7 ± 4,72 (34,0) a
Površina jedne grupisane traheje	902 ± 14,4 (33,6) b	1065 ± 6,72 (18,5) a	820 ± 7,70 (10,3) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	1,81 ± 1,32 (35,4) a	2,56 ± 1,18 (32,4) a	2,75 ± 1,64 (38,3) a
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	22,9 ± 2,14 (36,1) a	16,9 ± 1,24 (28,4) a	25,9 ± 1,71 (25,6) a
Broj traheja u jednoj grupi	2,19 ± 0,09 (15,8) a	1,89 ± 0,05 (10,1) a	2,04 ± 0,06 (11,2) a
V_g	1,26 ± 0,01 (3,86) a	1,19 ± 0,01 (4,17) a	1,22 ± 0,02 (5,32) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P49. Anatomske karaktere izbojaka *Salix alba* klon 'B-44' gajenog na zemljišnoj kulturi (II) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	L	Cd 3+L (II)	Cd 6+L (II)
% Epidermisa	2,30 ± 0,09 (14,4) a	1,87 ± 0,30 (62,8) a	1,67 ± 0,06 (14,7) a
% Primarne kore	14,8 ± 0,61 (16,1) a	19,0 ± 0,45 (9,10) a	11,2 ± 0,50 (17,4) a
% Sekundarnog floema	6,63 ± 0,16 (9,59) b	9,11 ± 0,33 (14,0) a	8,50 ± 0,53 (24,2) a
% Sekundarnog ksilema	32,2 ± 0,66 (7,89) a	37,4 ± 1,46 (15,2) a	33,6 ± 1,36 (15,7) a
Odnos ksilema/floem	4,93 ± 0,22 (17,0) a	4,20 ± 0,26 (24,1) a	4,21 ± 0,34 (31,7) a
% Srži	44,1 ± 0,39 (3,39) a	32,6 ± 1,14 (13,5) b	45,1 ± 1,45 (12,5) a
% Traheja u ksilemu	6,86 ± 1,87 (35,2) a	5,65 ± 1,98 (36,7) b	5,41 ± 1,82 (39,0) b
Broj traheja po mm ² ksilema	137 ± 8,66 (24,5) a	99,8 ± 6,55 (25,4) b	87,1 ± 5,84 (25,9) b
Prosječna površina traheja	899 ± 16,0 (37,3) a	585 ± 20,4 (30,8) b	437 ± 10,9 (12,3) c
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,42 ± 0,03 (31,1) a	0,18 ± 0,02 (40,3) b	0,11 ± 0,01 (12,5) c
V_i	0,26 ± 0,01 (21,4) a	0,28 ± 0,02 (20,9) a	0,29 ± 0,02 (24,2) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	77,7 ± 3,92 (19,5) a	63,7 ± 4,10 (24,9) b	66,8 ± 4,41 (25,6) b
Površina pojedinačnih traheja	871 ± 22,3 (50,2) a	568 ± 27,5 (40,3) c	683 ± 11,8 (20,9) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	4,32 ± 1,90 (30,1) a	2,88 ± 1,84 (34,7) b	3,04 ± 1,88 (36,8) b
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	59,2 ± 4,98 (32,6) a	36,1 ± 2,53 (27,1) b	20,3 ± 1,43 (27,4) c
Površina jedne grupisane traheje	928 ± 14,2 (34,1) a	602 ± 16,5 (25,6) b	590 ± 4,70 (9,58) c
% Grupisanih traheja u ksilemu	2,64 ± 1,86 (36,6) a	2,10 ± 1,56 (32,8) a	1,85 ± 1,12 (35,8) a
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	27,3 ± 1,42 (20,1) a	18,6 ± 1,07 (22,3) ab	18,5 ± 0,88 (40,1) b
Broj traheja u jednoj grupi	2,12 ± 0,09 (15,6) a	1,92 ± 0,04 (8,23) a	2,55 ± 0,17 (25,5) a
V_g	1,29 ± 0,02 (6,70) a	1,21 ± 0,01 (2,52) b	1,16 ± 0,01 (2,37) b

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P50. Anatomske karaktere izbojaka *Salix viminalis* klon 'SV068' gajenog na zemljišnoj kulturi (II uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	L	Cd 3+L (II)	Cd 6+L (II)
% Epidermisa	1,94 ± 0,11 (22,4) b	2,36 ± 0,22 (36,1) b	3,46 ± 0,17 (19,3) a
% Primarne kore	15,0 ± 0,38 (9,74) a	12,7 ± 0,40 (12,1) a	16,4 ± 0,91 (21,5) a
% Sekundarnog floema	5,93 ± 0,09 (5,82) c	9,9 ± 0,43 (12,0) a	7,06 ± 0,24 (13,3) b
% Sekundarnog ksilema	31,9 ± 0,39 (4,77) a	28,0 ± 1,00 (13,8) a	32,1 ± 0,73 (8,85) a
Odnos ksilema/floem	5,40 ± 0,10 (6,94) a	3,01 ± 0,05 (10,2) b	4,62 ± 0,18 (14,9) a
% Srži	45,2 ± 0,56 (4,82) a	43,1 ± 1,83 (16,4) a	41,0 ± 1,39 (13,2) a
% Traheja u ksilemu	7,10 ± 2,11 (36,4) a	5,95 ± 1,97 (39,0) b	7,34 ± 2,26 (41,3) a
Broj traheja po mm ² ksilema	153 ± 8,00 (20,2) a	119 ± 6,42 (20,8) b	165 ± 4,69 (11,0) a
Prosječna površina traheja	1221 ± 11,3 (35,6) a	600 ± 15,8 (24,5) b	514 ± 17,0 (22,5) c
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,47 ± 0,05 (23,4) a	0,19 ± 0,01 (28,7) b	0,14 ± 0,01 (34,0) b
V_i	0,27 ± 0,01 (19,2) a	0,36 ± 0,02 (23,8) a	0,23 ± 0,01 (5,69) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	87,6 ± 4,17 (18,4) a	67,7 ± 4,84 (27,7) b	93,1 ± 2,55 (10,6) a
Površina pojedinačnih traheja	1259 ± 14,0 (45,5) a	694 ± 27,4 (49,1) b	582 ± 15,7 (23,6) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	4,57 ± 1,15 (33,7) a	3,17 ± 1,67 (36,8) b	4,75 ± 1,65 (37,4) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	65,9 ± 4,66 (27,4) a	51,5 ± 2,17 (16,3) b	71,7 ± 2,54 (13,7) a
Površina jedne grupisane traheje	1183 ± 10,4 (31,8) a	505 ± 10,4 (13,5) b	445 ± 19,1 (22,0) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	2,97 ± 1,17 (36,2) a	2,28 ± 1,27 (34,7) b	3,16 ± 1,45 (32,8) a
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	32,9 ± 2,23 (26,3) a	23,5 ± 1,55 (25,7) a	31,2 ± 2,33 (28,9) a
Broj traheja u jednoj grupi	2,00 ± 0,02 (3,18) b	2,25 ± 0,08 (13,8) a	2,43 ± 0,14 (22,8) a
V_g	1,27 ± 0,01 (3,76) a	1,10 ± 0,01 (1,87) a	1,10 ± 0,01 (2,00) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P51. Anatomske karaktere izbojaka *Salix matsudana* klon 'SM4041' gajenog na zemljišnoj kulturi (II uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	L	Cd 3+L (II)	Cd 6+L (II)
% Epidermisa	2,33 ± 0,09 (15,1) b	4,06 ± 0,68 (65,3) a	2,45 ± 0,26 (40,4) b
% Primarne kore	14,7 ± 0,26 (6,85) a	10,4 ± 0,62 (23,1) b	15,6 ± 0,64 (15,9) a
% Sekundarnog floema	6,61 ± 0,08 (4,92) a	6,00 ± 0,34 (22,2) a	5,13 ± 0,30 (22,5) b
% Sekundarnog ksilema	33,9 ± 0,55 (6,25) b	43,7 ± 2,18 (19,3) a	27,1 ± 0,92 (13,2) b
Odnos ksilema/floem	5,14 ± 0,12 (9,31) b	7,40 ± 0,26 (13,6) a	5,53 ± 0,36 (24,9) b
% Srži	42,4 ± 0,41 (3,77) a	35,9 ± 3,57 (38,5) a	49,8 ± 0,51 (4,00) a
% Traheja u ksilemu	7,56 ± 2,18 (32,3) ab	6,95 ± 1,74 (36,1) b	8,21 ± 3,23 (34,7) a
Broj traheja po mm ² ksilema	174 ± 7,44 (16,6) b	160 ± 8,22 (19,8) b	201 ± 9,51 (18,3) a
Prosječna površina traheja	974 ± 12,1 (30,5) a	848 ± 7,68 (16,8) b	532 ± 14,1 (19,4) c
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,49 ± 0,03 (23,6) a	0,37 ± 0,01 (15,5) b	0,25 ± 0,01 (27,9) c
V_i	0,24 ± 0,01 (11,2) c	0,42 ± 0,02 (17,5) a	0,36 ± 0,01 (14,4) b
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	97,5 ± 4,79 (19,0) b	104 ± 5,57 (20,8) b	134 ± 6,47 (18,7) a
Površina pojedinačnih traheja	997 ± 13,6 (35,0) a	734 ± 11,3 (21,4) b	659 ± 29,7 (17,4) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	4,81 ± 1,54 (35,1) a	3,33 ± 1,40 (33,5) b	4,90 ± 2,18 (37,8) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	76,1 ± 3,98 (20,2) a	56,8 ± 3,89 (26,5) b	76,8 ± 3,45 (20,0) a
Površina jedne grupisane traheje	952 ± 14,9 (36,6) a	962 ± 7,40 (18,4) a	405 ± 10,1 (10,6) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	3,24 ± 1,34 (37,1) a	2,64 ± 1,23 (32,4) a	3,25 ± 1,35 (37,4) a
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	57,3 ± 1,13 (7,62) a	28,9 ± 2,25 (30,1) c	34,3 ± 1,45 (16,4) b
Broj traheja u jednoj grupi	1,35 ± 0,08 (22,6) a	2,00 ± 0,05 (9,80) a	1,94 ± 0,04 (8,00) a
V_g	1,12 ± 0,03 (9,42) a	1,21 ± 0,01 (4,08) a	1,19 ± 0,01 (2,71) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P52. Anatomske karaktere izbojaka *Salix alba* klon 'B-44' gajenog na zemljišnoj kulturi (III uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
% Epidermisa	4,48 ± 0,52 (45,0) a	4,46 ± 1,17 (10,2) a	2,69 ± 0,18 (25,7) b
% Primarne kore	16,8 ± 0,73 (16,8) a	16,8 ± 0,98 (22,6) a	11,5 ± 0,52 (17,4) b
% Sekundarnog floema	6,91 ± 0,27 (14,9) b	8,24 ± 0,45 (21,2) a	8,16 ± 0,49 (23,1) a
% Sekundarnog ksilema	31,2 ± 0,71 (8,81) a	37,2 ± 1,08 (11,3) a	34,0 ± 1,28 (14,6) a
Odnos ksilema/floem	4,64 ± 0,26 (21,5) a	4,73 ± 0,31 (25,1) a	4,42 ± 0,35 (30,5) a
% Srži	40,6 ± 0,41 (3,89) a	33,3 ± 2,02 (23,4) a	43,7 ± 1,34 (11,9) a
% Traheja u ksilemu	7,46 ± 1,25 (38,1) a	5,87 ± 1,14 (37,0) b	5,52 ± 1,09 (38,7) b
Broj traheja po mm ² ksilema	145 ± 3,60 (9,62) a	121 ± 2,47 (7,93) b	115 ± 4,15 (14,0) b
Prosječna površina traheja	990 ± 22,2 (56,6) a	727 ± 8,73 (16,4) b	696 ± 19,2 (34,5) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,55 ± 0,05 (33,5) b	0,57 ± 0,07 (47,5) b	0,75 ± 0,04 (22,2) a
V_i	0,27 ± 0,02 (29,7) a	0,27 ± 0,02 (25,0) a	0,26 ± 0,02 (22,5) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	91,2 ± 2,42 (10,3) a	81,5 ± 1,85 (8,77) a	80,5 ± 2,68 (12,9) a
Površina pojedinačnih traheja	1103 ± 26,7 (75,9) a	836 ± 17,3 (37,3) b	851 ± 16,8 (36,8) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	4,63 ± 1,43 (44,0) a	3,92 ± 1,29 (34,8) a	3,72 ± 1,23 (35,1) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	53,7 ± 2,50 (18,0) a	39,2 ± 1,22 (12,0) b	34,3 ± 2,42 (27,3) b
Površina jedne grupisane traheje	877 ± 19,2 (43,5) a	617 ± 14,3 (22,8) b	542 ± 39,5 (55,3) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	3,05 ± 0,87 (36,7) a	2,03 ± 0,89 (39,9) a	1,95 ± 0,81 (37,4) a
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	29,1 ± 1,28 (17,0) a	20,5 ± 0,77 (14,6) a	17,5 ± 1,45 (32,1) b
Broj traheja u jednoj grupi	1,88 ± 0,09 (19,0) a	1,93 ± 0,04 (8,54) a	2,02 ± 0,11 (21,0) a
V_g	1,21 ± 0,02 (6,70) a	1,19 ± 0,01 (2,34) a	1,17 ± 0,02 (5,11) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P53. Anatomske karaktere izbojaka *Salix viminalis* klon 'SV068' gajenog na zemljišnoj kulturi (III uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere izbojaka	L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
% Epidermisa	3,72 ± 0,38 (40,0) b	5,79 ± 0,85 (57,0) a	5,60 ± 1,00 (36,4) a
% Primarne kore	15,1 ± 0,40 (10,3) a	12,5 ± 0,37 (11,4) a	15,5 ± 0,78 (19,3) a
% Sekundarnog floema	5,88 ± 0,09 (5,73) b	7,17 ± 0,38 (11,1) a	6,54 ± 0,22 (13,2) b
% Sekundarnog ksilema	31,8 ± 0,35 (4,23) a	27,3 ± 0,80 (11,4) a	30,1 ± 0,72 (9,24) a
Odnos ksilema/floem	5,42 ± 0,10 (7,11) a	3,88 ± 0,05 (10,2) b	4,67 ± 0,16 (13,7) a
% Srži	43,5 ± 0,59 (5,26) a	41,3 ± 1,95 (18,3) a	37,2 ± 1,35 (14,1) a
% Traheja u ksilemu	6,84 ± 2,14 (38,8) a	4,42 ± 1,83 (32,5) b	5,55 ± 1,68 (34,8) b
Broj traheja po mm ² ksilema	168 ± 8,33 (19,3) a	96,8 ± 5,62 (22,5) c	125 ± 3,24 (10,0) b
Prosječna površina traheja	1401 ± 12,7 (45,9) a	944 ± 15,6 (22,8) b	858 ± 18,3 (22,6) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	1,01 ± 0,07 (26,1) a	0,17 ± 0,01 (28,3) b	0,12 ± 0,01 (35,2) b
V_i	0,26 ± 0,01 (18,1) a	0,29 ± 0,01 (19,5) a	0,20 ± 0,01 (5,32) a
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	89,7 ± 4,05 (17,5) a	65,8 ± 5,00 (29,4) b	91,5 ± 2,63 (11,2) a
Površina pojedinačnih traheja	1604 ± 16,4 (67,9) a	993 ± 27,9 (45,6) b	890 ± 16,9 (23,1) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	3,80 ± 1,20 (33,6) a	2,94 ± 1,07 (36,7) a	4,32 ± 1,14 (36,3) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	77,9 ± 5,24 (26,0) a	31,0 ± 1,49 (18,6) b	33,7 ± 0,87 (10,0) b
Površina jedne grupisane traheje	1199 ± 10,3 (32,0) a	896 ± 10,4 (13,4) b	826 ± 20,3 (22,3) b
% Grupisanih traheja u ksilemu	3,31 ± 1,55 (33,2) a	1,76 ± 0,98 (29,8) b	1,81 ± 0,92 (32,2) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	33,9 ± 2,23 (25,5) a	14,7 ± 0,87 (22,8) b	16,1 ± 0,49 (11,9) b
Broj traheja u jednoj grupi	2,29 ± 0,02 (3,54) a	2,14 ± 0,08 (14,7) a	2,10 ± 0,03 (6,03) a
V_g	1,35 ± 0,02 (4,56) a	1,22 ± 0,02 (6,23) a	1,17 ± 0,01 (1,41) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P54. Anatomske karakteristike izbojaka *Salix matsudana* klon 'SM4041' gajenog na zemljišnoj kulturi (III uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike izbojaka	L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
% Epidermisa	5,11 ± 0,38 (28,6) a	6,11 ± 0,33 (20,7) a	5,56 ± 0,34 (23,9) a
% Primarne kore	14,7 ± 0,25 (6,54) a	8,86 ± 0,27 (12,0) b	15,6 ± 0,68 (16,9) a
% Sekundarnog floema	6,42 ± 0,07 (4,35) a	5,01 ± 0,21 (16,5) b	5,06 ± 0,24 (18,5) b
% Sekundarnog ksilema	33,3 ± 0,60 (6,98) a	37,0 ± 0,88 (9,27) a	26,7 ± 0,97 (14,0) a
Odnos ksilema/floem	5,20 ± 0,12 (9,29) b	7,50 ± 0,25 (12,7) a	5,46 ± 0,32 (23,0) b
% Srži	40,5 ± 0,35 (3,37) a	32,5 ± 4,00 (47,5) a	46,5 ± 0,45 (3,79) a
% Traheja u ksilemu	9,37 ± 2,68 (39,2) a	6,20 ± 1,95 (41,2) b	8,87 ± 2,33 (40,1) a
Broj traheja po mm ² ksilema	231 ± 7,69 (12,9) a	157 ± 6,98 (17,3) b	183 ± 9,14 (19,3) a
Prosječna površina traheja	1156 ± 12,3 (36,8) a	1018 ± 8,22 (16,3) b	920 ± 15,1 (18,3) b
$k_h \cdot 10^{-6}$	0,49 ± 0,04 (23,5) a	0,30 ± 0,01 (16,4) b	0,32 ± 0,01 (12,3) b
V_i	0,37 ± 0,01 (9,61) a	0,41 ± 0,01 (13,2) a	0,27 ± 0,01 (13,9) b
Broj pojedinačnih traheja po mm ² ksilema	131 ± 3,77 (11,2) a	98,0 ± 5,85 (23,1) b	131 ± 6,70 (19,8) a
Površina pojedinačnih traheja	1342 ± 14,6 (50,5) a	1080 ± 14,2 (21,2) b	953 ± 19,2 (27,4) b
% Pojedinačnih traheja u ksilemu	5,40 ± 1,89 (30,6) a	4,34 ± 1,68 (30,6) b	5,38 ± 1,86 (30,2) a
Broj grupisanih traheja po mm ² ksilema	100 ± 4,54 (17,5) a	58,8 ± 1,92 (12,6) b	52,0 ± 2,77 (20,6) b
Površina jedne grupisane traheje	970 ± 14,7 (36,8) a	956 ± 18,3 (7,42) a	888 ± 9,70 (10,6) a
% Grupisanih traheja u ksilemu	4,20 ± 1,67 (33,1) a	2,55 ± 1,36 (30,9) b	2,44 ± 1,28 (29,7) b
Broj grupa traheja po mm ² ksilema	58,3 ± 1,13 (7,49) a	24,9 ± 1,76 (27,3) c	33,3 ± 1,87 (21,7) b
Broj traheja u jednoj grupi	2,24 ± 0,04 (6,53) a	2,44 ± 0,10 (15,8) a	1,58 ± 0,05 (13,2) a
V_g	1,46 ± 0,01 (3,78) a	1,29 ± 0,02 (5,21) b	1,12 ± 0,01 (3,26) b

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

9.10. Stereološka analiza izbojaka klonova vrba

Tabela P55. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix alba* klon 'B-44' (I uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	K	Cd 3 (I)	Cd 6 (I)
Vv epidermisa	5,86 ± 0,19 (16,3) b*	7,08 ± 0,39 (27,7) a	7,43 ± 0,19 (12,6) a
Vv intercelulara primarne kore	1,53 ± 0,17 (56,8) a	1,21 ± 0,18 (75,6) a	1,00 ± 0,14 (74,0) b
Vv primarnog floema	17,5 ± 0,67 (19,2) a	18,3 ± 0,55 (15,0) a	17,5 ± 0,67 (19,2) a
Vv sklerenhima	6,75 ± 0,34 (25,3) a	6,00 ± 0,26 (21,8) a	5,17 ± 0,16 (15,1) b
Vv sekundarnog floema	9,19 ± 0,25 (13,8) b	10,8 ± 0,37 (17,0) a	10,7 ± 0,33 (15,5) a
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	46,2 ± 2,20 (23,8) a	39,1 ± 2,12 (27,1) a	40,7 ± 2,15 (26,3) a
Vv srži	12,9 ± 1,33 (51,4) b	17,4 ± 1,32 (38,1) a	17,5 ± 1,61 (45,8) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P56. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix alba* klon 'B-44' (I uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	L	Cd 3+L (I)	Cd 6+L (I)
Vv epidermisa	7,28 ± 0,21 (14,3) a*	6,85 ± 0,27 (19,4) a	7,74 ± 0,20 (13,1) a
Vv intercelulara primarne kore	1,60 ± 0,17 (54,7) a	1,17 ± 0,18 (77,0) a	1,39 ± 0,14 (50,6) a
Vv primarnog floema	18,4 ± 0,56 (15,3) a	18,2 ± 0,97 (26,6) a	18,0 ± 0,83 (23,0) a
Vv sklerenhima	6,28 ± 0,25 (20,3) a	6,00 ± 0,23 (19,6) a	6,13 ± 0,21 (16,8) a
Vv sekundarnog floema	9,74 ± 0,40 (20,8) b	11,3 ± 0,31 (13,8) a	10,5 ± 0,22 (10,7) ab
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	39,4 ± 2,26 (28,7) a	40,9 ± 2,14 (26,2) a	38,9 ± 2,09 (26,8) a
Vv srži	17,3 ± 1,41 (40,7) a	15,5 ± 1,38 (13,1) a	17,3 ± 1,27 (36,7) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa limunskom kiselinom i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P57. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix viminalis* klon 'SV068' (I uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	K	Cd 3 (I)	Cd 6 (I)
Vv epidermisa	6,48 ± 0,32 (24,4) a*	6,41 ± 0,34 (27,0) a	6,00 ± 0,34 (28,8) a
Vv intercelulara primarne kore	3,32 ± 0,47 (71,1) a	2,72 ± 0,36 (65,2) a	2,85 ± 0,39 (68,2) a
Vv primarnog floema	15,6 ± 0,78 (25,1) b	16,8 ± 0,71 (21,1) ab	18,3 ± 0,60 (16,3) a
Vv sklerenhima	8,75 ± 0,59 (33,5) b	9,88 ± 0,36 (32,0) a	9,26 ± 0,48 (25,9) b
Vv sekundarnog floema	7,88 ± 0,37 (23,7) a	7,10 ± 0,27 (19,2) a	6,65 ± 0,34 (25,2) b
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	32,6 ± 1,81 (27,6) a	34,4 ± 1,94 (28,1) a	34,1 ± 1,82 (26,8) a
Vv srži	25,3 ± 0,83 (16,4) a	22,6 ± 0,76 (16,8) a	23,0 ± 1,04 (22,8) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P58. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix viminalis* klon 'SV068' (I uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	L	Cd 3+L (I)	Cd 6+L (I)
Vv epidermisa	6,14 ± 0,26 (21,0) a*	6,39 ± 0,33 (25,6) a	6,24 ± 0,31 (25,1) a
Vv intercelulara primarne kore	3,61 ± 0,36 (50,6) a	2,94 ± 0,29 (48,6) a	3,91 ± 0,46 (59,6) a
Vv primarnog floema	17,6 ± 0,61 (17,2) b	16,3 ± 0,97 (29,6) b	20,1 ± 0,60 (15,0) a
Vv sklerenhima	8,77 ± 0,56 (31,8) a	9,49 ± 0,60 (31,9) a	9,20 ± 0,49 (26,6) a
Vv sekundarnog floema	7,04 ± 0,34 (24,5) b	6,37 ± 0,37 (28,9) b	9,00 ± 0,27 (15,0) a
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	32,8 ± 1,94 (29,6) a	31,5 ± 1,79 (28,4) a	28,9 ± 1,29 (22,3) a
Vv srži	24,0 ± 0,79 (16,5) b	26,9 ± 1,05 (19,6) a	22,7 ± 0,49 (10,8) b

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa limunskom kiselinom i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P59. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix matsudana* klon 'SM4041' (I uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	K	Cd 3 (I)	Cd 6 (I)
Vv epidermisa	5,38 ± 0,27 (25,1) a*	4,87 ± 0,30 (30,4) a	4,67 ± 0,23 (24,8) a
Vv intercelulara primarne kore	3,36 ± 0,90 (39,6) a	1,93 ± 0,34 (88,1) b	2,41 ± 0,37 (76,0) a
Vv primarnog floema	17,3 ± 1,02 (29,6) a	16,2 ± 0,75 (23,3) a	18,6 ± 0,63 (16,9) a
Vv sklerenhima	7,71 ± 0,42 (27,5) a	6,57 ± 0,47 (35,8) b	7,50 ± 0,28 (18,8) a
Vv sekundarnog floema	7,86 ± 0,24 (15,3) b	8,82 ± 0,28 (16,0) b	11,0 ± 0,22 (9,86) a
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	42,5 ± 1,96 (23,1) a	42,2 ± 2,15 (25,5) a	36,7 ± 1,42 (19,3) b
Vv srži	15,8 ± 0,54 (17,1) b	19,4 ± 0,94 (24,2) a	19,2 ± 0,46 (12,0) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P60. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix matsudana* klon 'SM4041' (I uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	L	Cd 3+L (I)	Cd 6+L (I)
Vv epidermisa	5,31 ± 0,34 (31,9) b*	4,86 ± 0,29 (30,6) b	6,03 ± 0,46 (38,0) a
Vv intercelulara primarne kore	1,94 ± 0,29 (75,4) a	2,40 ± 0,28 (59,3) a	1,89 ± 0,18 (48,2) a
Vv primarnog floema	17,7 ± 0,75 (21,2) b	18,0 ± 1,00 (28,0) ab	19,7 ± 0,77 (19,5) a
Vv sklerenhima	6,93 ± 0,41 (29,5) b	7,45 ± 0,39 (26,0) ab	8,33 ± 0,39 (13,2) a
Vv sekundarnog floema	9,10 ± 0,30 (16,2) b	10,6 ± 0,38 (18,1) b	10,8 ± 0,28 (13,1) a
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	40,5 ± 1,52 (18,7) a	39,6 ± 1,84 (23,2) a	36,1 ± 1,51 (21,0) a
Vv srži	18,5 ± 0,64 (17,3) a	17,1 ± 0,52 (15,1) a	17,1 ± 0,44 (13,1) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa limunskom kiselinom i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P61. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix alba* klon 'B-44' (II uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	K	Cd 3 (II)	Cd 6 (II)
Vv epidermisa	4,34 ± 0,17 (19,6) a*	5,30 ± 0,21 (20,3) a	4,73 ± 0,31 (33,0) a
Vv intercelulara primarne kore	2,66 ± 0,36 (68,2) a	1,33 ± 0,22 (81,5) b	1,31 ± 0,23 (89,3) b
Vv primarnog floema	16,1 ± 1,00 (30,9) b	16,8 ± 0,97 (28,9) b	17,9 ± 1,14 (31,9) a
Vv sklerenhima	10,1 ± 0,32 (16,0) a	8,12 ± 0,26 (16,0) b	8,43 ± 0,38 (22,3) b
Vv sekundarnog floema	9,74 ± 0,21 (10,9) b	12,0 ± 0,51 (21,2) a	10,4 ± 0,55 (26,4) b
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	44,0 ± 2,18 (24,7) a	44,3 ± 1,93 (27,8) a	42,4 ± 2,53 (29,8) a
Vv srži	13,0 ± 0,82 (31,6) b	12,2 ± 0,63 (25,9) b	14,8 ± 0,80 (27,0) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P62. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix alba* klon 'B-44' (II uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	L	Cd 3+L (II)	Cd 6+L (II)
Vv epidermisa	4,08 ± 0,21 (25,7) a*	4,67 ± 0,24 (25,5) a	4,62 ± 0,25 (27,5) a
Vv intercelulara primarne kore	2,30 ± 0,18 (39,9) ab	1,47 ± 0,09 (32,5) b	2,78 ± 0,38 (38,8) a
Vv primarnog floema	16,0 ± 0,91 (28,3) b	16,5 ± 0,90 (27,0) b	21,3 ± 0,78 (18,3) a
Vv sklerenhima	9,90 ± 0,36 (18,2) a	8,10 ± 0,41 (25,7) b	10,3 ± 0,21 (16,8) a
Vv sekundarnog floema	11,0 ± 0,42 (19,2) b	12,5 ± 0,47 (18,9) a	10,5 ± 0,63 (30,4) b
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	41,9 ± 1,83 (21,8) a	44,1 ± 1,90 (21,5) a	35,3 ± 2,00 (27,9) b
Vv srži	14,8 ± 0,50 (17,0) a	12,7 ± 0,60 (23,5) b	14,4 ± 0,61 (21,2) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa limunskom kiselinom i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P63. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix viminalis* klon 'SV068' (II uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	K	Cd 3 (II)	Cd 6 (II)
Vv epidermisa	5,17 ± 0,32 (31,3) a*	5,41 ± 0,33 (30,5) a	5,83 ± 0,38 (32,2) a
Vv intercelulara primarne kore	3,50 ± 1,00 (74,2) a	2,46 ± 0,34 (69,0) b	1,76 ± 0,35 (51,1) c
Vv primarnog floema	16,6 ± 1,19 (35,8) b	17,5 ± 1,23 (32,5) b	19,3 ± 0,87 (22,5) a
Vv sklerenhima	8,55 ± 0,49 (28,9) a	8,41 ± 0,46 (27,3) a	8,94 ± 0,51 (28,7) a
Vv sekundarnog floema	9,76 ± 0,52 (26,6) a	7,66 ± 0,38 (24,6) b	9,24 ± 0,52 (28,2) a
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	42,9 ± 2,58 (30,1) a	46,0 ± 2,30 (24,9) a	40,3 ± 2,21 (27,4) a
Vv srži	13,5 ± 0,68 (25,3) b	12,6 ± 0,49 (19,5) b	14,6 ± 0,59 (20,4) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P64. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix viminalis* klon 'SV068' (II uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	L	Cd 3+L (II)	Cd 6+L (II)
Vv epidermisa	4,73 ± 0,39 (41,5) a*	5,00 ± 0,25 (24,6) a	5,22 ± 0,36 (34,6) a
Vv intercelulara primarne kore	2,08 ± 0,40 (96,3) b	1,98 ± 0,34 (86,1) b	3,14 ± 0,40 (64,2) a
Vv primarnog floema	16,9 ± 1,82 (54,0) b	15,3 ± 0,95 (31,0) c	21,0 ± 1,00 (23,9) a
Vv sklerenhima	7,62 ± 0,50 (33,0) a	8,20 ± 0,43 (26,0) a	7,71 ± 0,32 (20,9) a
Vv sekundarnog floema	7,66 ± 0,50 (32,5) b	8,77 ± 0,51 (29,3) a	8,73 ± 0,41 (23,7) a
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	49,8 ± 2,68 (27,0) a	48,0 ± 1,80 (18,8) a	38,9 ± 1,79 (23,0) b
Vv srži	11,2 ± 0,66 (29,2) c	12,8 ± 0,48 (18,8) b	15,3 ± 0,59 (19,2) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa limunskom kiselinom i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P65. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix matsudana* klon 'SM4041' (II uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	K	Cd 3 (II)	Cd 6 (II)
Vv epidermisa	5,10 ± 0,31 (30,5) a*	4,68 ± 0,38 (40,7) a	4,15 ± 0,23 (28,2) a
Vv intercelulara primarne kore	2,49 ± 0,36 (71,2) a	1,16 ± 0,24 (68,8) b	1,14 ± 0,19 (86,0) b
Vv primarnog floema	18,3 ± 1,17 (32,1) a	19,0 ± 1,00 (26,6) a	18,0 ± 1,07 (29,7) a
Vv sklerenhima	9,74 ± 0,39 (20,2) a	8,08 ± 0,21 (13,3) b	7,80 ± 0,26 (16,9) b
Vv sekundarnog floema	8,26 ± 0,38 (23,4) b	8,65 ± 0,49 (28,3) b	10,0 ± 0,32 (16,0) a
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	44,9 ± 1,75 (19,5) a	44,2 ± 1,82 (20,6) a	46,1 ± 2,03 (22,1) a
Vv srži	11,3 ± 0,42 (18,5) b	14,2 ± 0,68 (23,8) a	12,8 ± 0,58 (22,6) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P66. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix matsudana* klon 'SM4041' (II uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
Vv epidermisa	4,54 ± 0,23 (24,8) a*	4,80 ± 0,26 (27,6) a	4,58 ± 0,19 (21,0) a
Vv intercelulara primarne kore	1,37 ± 0,18 (66,6) a	1,26 ± 0,19 (74,9) a	1,70 ± 0,18 (53,1) a
Vv primarnog floema	20,5 ± 0,89 (21,7) a	19,3 ± 0,94 (24,5) b	17,6 ± 1,04 (29,7) b
Vv sklerenhima	8,66 ± 0,24 (14,0) a	7,71 ± 0,24 (15,6) a	8,14 ± 0,22 (13,6) a
Vv sekundarnog floema	7,49 ± 0,37 (24,8) b	9,53 ± 0,33 (17,2) a	9,67 ± 0,23 (11,8) a
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	44,4 ± 1,49 (16,8) a	45,8 ± 1,60 (17,4) a	45,4 ± 1,66 (18,3) a
Vv srži	13,1 ± 0,42 (15,9) a	11,6 ± 0,43 (18,5) b	13,0 ± 0,58 (22,5) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa limunskom kiselinom i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P67. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix alba* klon 'B-44' (III uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	K	Cd 3 (III)	Cd 6 (III)
Vv epidermisa	6,14 ± 0,34 (28,0) a*	3,60 ± 0,23 (32,9) b	3,78 ± 0,30 (40,2) b
Vv intercelulara primarne kore	0,43 ± 0,10 (12,6) b	0,53 ± 0,09 (18,5) a	0,62 ± 0,14 (19,0) a
Vv primarnog floema	16,3 ± 1,07 (32,8) b	18,2 ± 1,38 (38,0) a	19,3 ± 1,17 (30,2) a
Vv sklerenhima	5,70 ± 0,28 (24,4) b	8,67 ± 0,46 (26,4) a	8,18 ± 0,31 (19,0) a
Vv sekundarnog floema	11,6 ± 0,34 (14,7) a	12,0 ± 0,51 (21,2) a	11,2 ± 0,44 (19,5) a
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	46,4 ± 2,40 (25,8) a	46,3 ± 2,31 (25,0) a	43,2 ± 2,10 (24,3) a
Vv srži	13,3 ± 1,02 (38,4) a	12,2 ± 0,67 (27,4) b	13,6 ± 0,73 (26,8) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P68. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix alba* klon 'B-44' (III uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
Vv epidermisa	5,01 ± 0,23 (23,1) a*	3,08 ± 0,17 (28,0) b	3,83 ± 0,26 (34,0) b
Vv intercelulara primarne kore	1,23 ± 0,14 (56,1) a	0,49 ± 0,08 (45,4) b	0,87 ± 0,23 (35,2) ab
Vv primarnog floema	17,0 ± 0,82 (24,0) b	20,6 ± 0,93 (22,5) a	21,3 ± 0,92 (21,6) a
Vv sklerenhima	8,36 ± 0,33 (19,6) a	7,77 ± 0,24 (15,5) a	8,35 ± 0,36 (21,4) a
Vv sekundarnog floema	10,9 ± 0,46 (21,3) a	11,9 ± 0,27 (11,4) a	11,4 ± 0,33 (14,3) a
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	43,5 ± 1,93 (22,2) a	44,7 ± 1,86 (20,9) a	41,2 ± 1,95 (23,7) a
Vv srži	14,0 ± 0,94 (33,7) a	11,4 ± 0,66 (28,9) b	13,1 ± 0,85 (32,5) ab

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa limunskom kiselinom i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P69. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix viminalis* klon 'SV068' (III uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	K	Cd 3 (III)	Cd 6 (III)
Vv epidermisa	5,24 ± 0,37 (35,6) a*	5,57 ± 0,35 (31,8) a	5,71 ± 0,37 (32,1) a
Vv intercelulara primarne kore	1,96 ± 0,19 (77,8) a	2,40 ± 0,85 (76,6) a	2,33 ± 0,33 (70,6) a
Vv primarnog floema	16,6 ± 1,17 (17,2) a	16,3 ± 0,98 (30,2) a	16,3 ± 0,84 (25,8) a
Vv sklerenhima	8,35 ± 0,28 (17,4) a	8,61 ± 0,37 (21,7) a	9,39 ± 0,43 (22,9) a
Vv sekundarnog floema	8,36 ± 0,57 (34,3) b	9,87 ± 0,42 (21,4) a	8,49 ± 0,46 (27,1) ab
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	50,4 ± 2,24 (22,2) a	46,8 ± 1,88 (20,1) a	43,8 ± 1,84 (21,0) a
Vv srži	10,0 ± 0,39 (19,6) b	10,4 ± 0,52 (25,0) b	14,0 ± 0,54 (19,4) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P70. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix viminalis* klon 'SV068' (III uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
Vv epidermisa	5,07 ± 0,38 (38,1) a*	4,15 ± 0,29 (35,1) a	5,10 ± 0,40 (39,0) a
Vv intercelulara primarne kore	2,18 ± 0,39 (90,3) b	1,13 ± 0,17 (73,6) c	3,16 ± 1,05 (66,1) a
Vv primarnog floema	18,3 ± 0,97 (26,6) a	16,1 ± 0,82 (25,5) b	16,2 ± 1,30 (40,0) b
Vv sklerenhima	8,68 ± 0,47 (27,2) a	7,17 ± 0,37 (25,8) b	8,60 ± 0,25 (14,4) a
Vv sekundarnog floema	8,63 ± 0,57 (33,2) b	11,9 ± 0,97 (40,9) a	8,79 ± 0,39 (22,2) b
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	45,3 ± 2,64 (29,1) a	50,0 ± 2,40 (24,0) a	46,0 ± 3,04 (33,1) a
Vv srži	11,9 ± 0,58 (24,5) a	9,63 ± 0,48 (24,8) b	12,2 ± 0,72 (29,6) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa limunskom kiselinom i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P71. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix matsudana* klon 'SM4041' (III uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	K	Cd 3 (III)	Cd 6 (III)
Vv epidermisa	4,53 ± 0,32 (35,9) a*	4,66 ± 0,37 (40,5) a	4,13 ± 0,23 (28,0) a
Vv intercelulara primarne kore	0,94 ± 0,16 (85,4) a	1,19 ± 0,25 (63,4) a	1,17 ± 0,20 (86,2) a
Vv primarnog floema	13,8 ± 0,80 (29,0) b	18,9 ± 1,00 (26,5) a	18,1 ± 1,10 (30,0) a
Vv sklerenhima	7,95 ± 0,36 (22,6) a	8,06 ± 0,22 (13,3) a	7,79 ± 0,26 (17,0) a
Vv sekundarnog floema	8,52 ± 0,47 (27,4) b	8,70 ± 0,50 (28,5) b	10,0 ± 0,31 (15,8) a
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	54,5 ± 1,88 (17,2) a	44,1 ± 1,81 (20,5) b	46,0 ± 2,00 (22,0) ab
Vv srži	9,79 ± 0,47 (24,1) b	14,3 ± 0,70 (24,0) a	12,7 ± 0,58 (23,0) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Dankan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P72. Volumenske gustine (Vv) tkiva izbojka *Salix matsudana* klon 'SM4041' (III uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L, u poređenju sa kontrolom sa limunskom kiselinom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Tkivo izbojka	L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
Vv epidermisa	4,51 ± 0,21 (24,1) a*	4,78 ± 0,25 (27,1) a	4,55 ± 0,20 (20,8) a
Vv intercelulara primarne kore	1,40 ± 0,19 (68,0) a	1,29 ± 0,19 (75,1) a	1,72 ± 0,20 (53,2) a
Vv primarnog floema	20,4 ± 0,90 (21,7) a	19,2 ± 0,94 (24,4) a	17,5 ± 1,00 (29,5) b
Vv sklerenhima	8,65 ± 0,25 (14,2) a	7,70 ± 0,24 (16,0) a	8,12 ± 0,22 (13,5) a
Vv sekundarnog floema	7,51 ± 0,38 (25,1) b	9,52 ± 0,32 (16,9) a	9,70 ± 0,22 (11,6) a
Vv ksilema (primarni + sekundarni)	44,3 ± 1,48 (16,7) a	45,7 ± 1,60 (17,5) a	45,3 ± 1,65 (18,2) a
Vv srži	13,0 ± 0,41 (15,8) a	12,0 ± 0,44 (18,4) a	12,9 ± 0,58 (22,4) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa limunskom kiselinom i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Dankan test, $p \leq 0,05$).

9.11. Analiza anatomskih karaktera liske tri klona *Salix* spp. gajenih u prisustvu limunske kiseline

Slika P26. Poprečni presjek liske tri klona *Salix* spp., gajenih u prisustvu limunske kiseline, u regionu glavnog nerva:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’.

Oznake:

A, D, G – bazalni segment liske

B, E, H – srednji segment liske

C, F, I – vršni segment liske

ade – adaksijalni epidermis

abe – abaksijalni epidermis

fl – floem

kd – kristalna druzna

kol – kolenhim

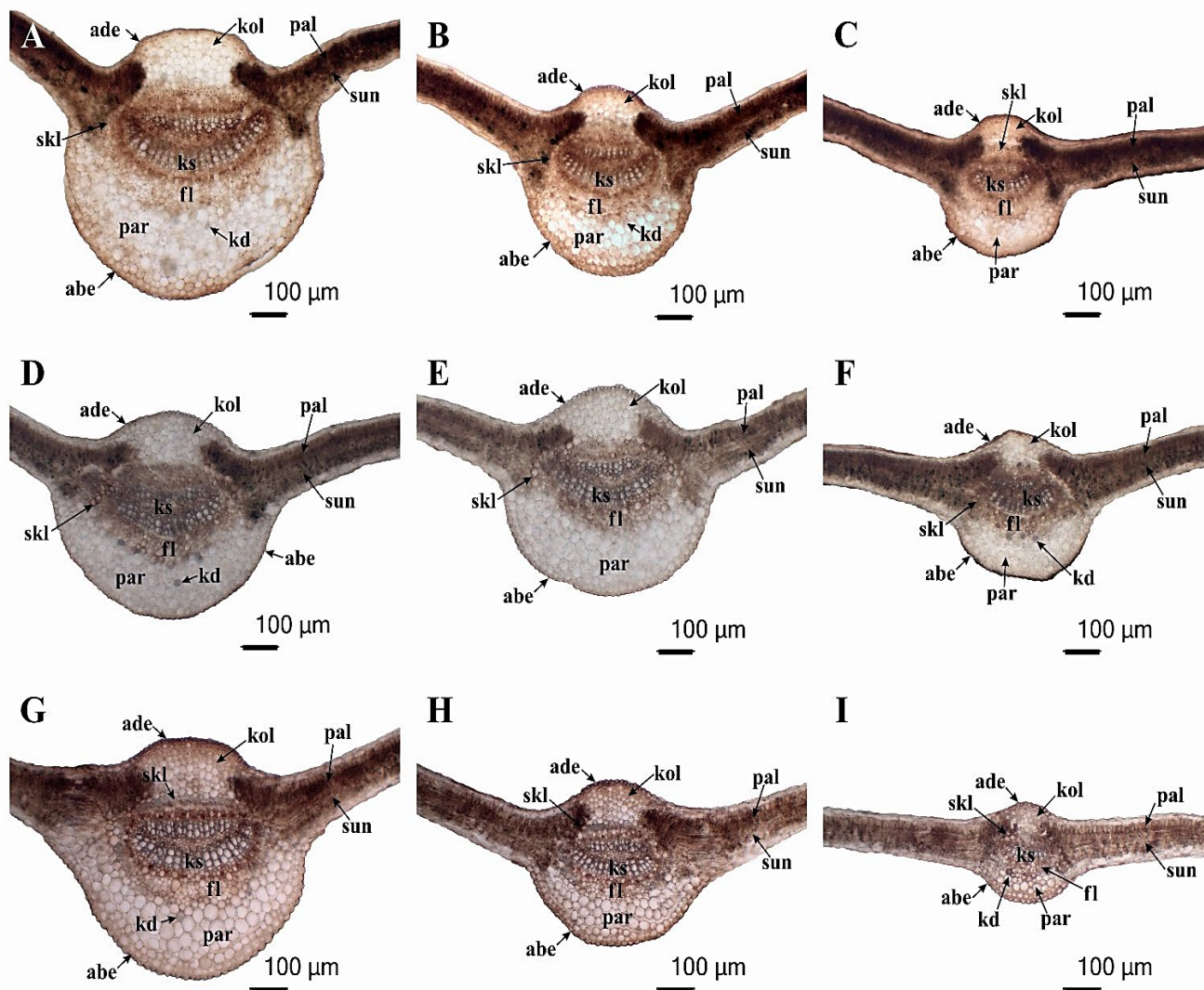
ks – ksilem

pal – palisadno tkivo

par – parenhim

skl – sklerenhimatičan parenhim

sun – sunderasto tkivo



Slika P27. Poprečni presjek liske tri klonu *Salix* spp. gajenih u prisustvu limunske kiseline, u regionu $\frac{1}{4}$ širine:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’.

Oznake:

A, D, G – bazalni segment liske

B, E, H – srednji segment liske

C, F, I – vršni segment liske

ade – adaksijalni epidermis

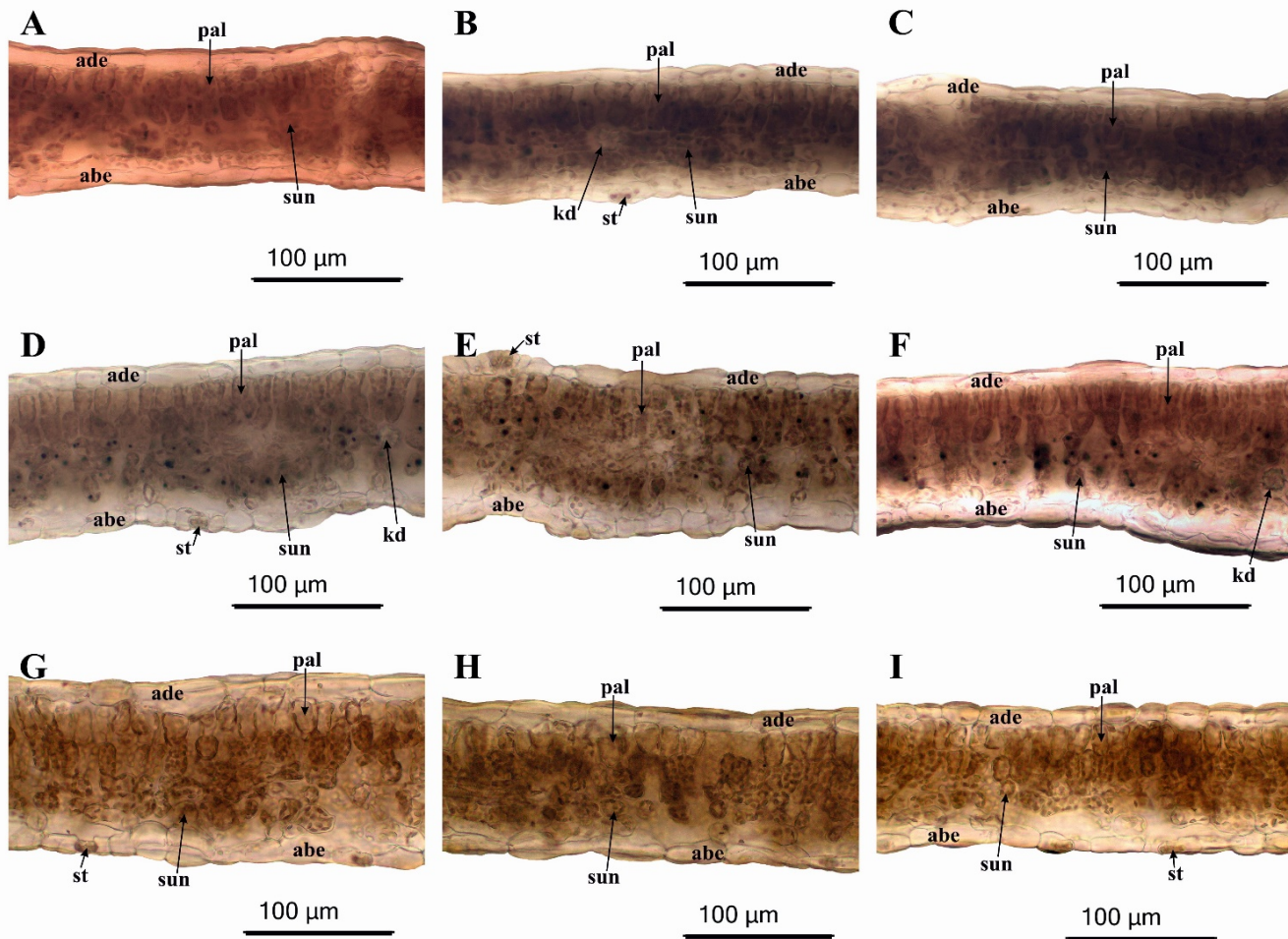
abe – abaksijalni epidermis

kd – kristalna druzna

pal – palisadno tkivo

st – stoma

sun – sunđerasto tkivo



9.12. Uticaj Cd na anatomske parametre liske klonova vrba

Slika P28. Poprečni presjek liske tri klona *Salix* spp. gajenih u prisustvu Cd 3, u regionu glavnog nerva:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’.

Oznake:

A, D, G – bazalni segment liske

B, E, H – srednji segment liske

C, F, I – vršni segment liske

ade – adaksijalni epidermis

abe – abaksijalni epidermis

fl – floem

kd – kristalna druzna

kol – kolenhim

ks – ksilem

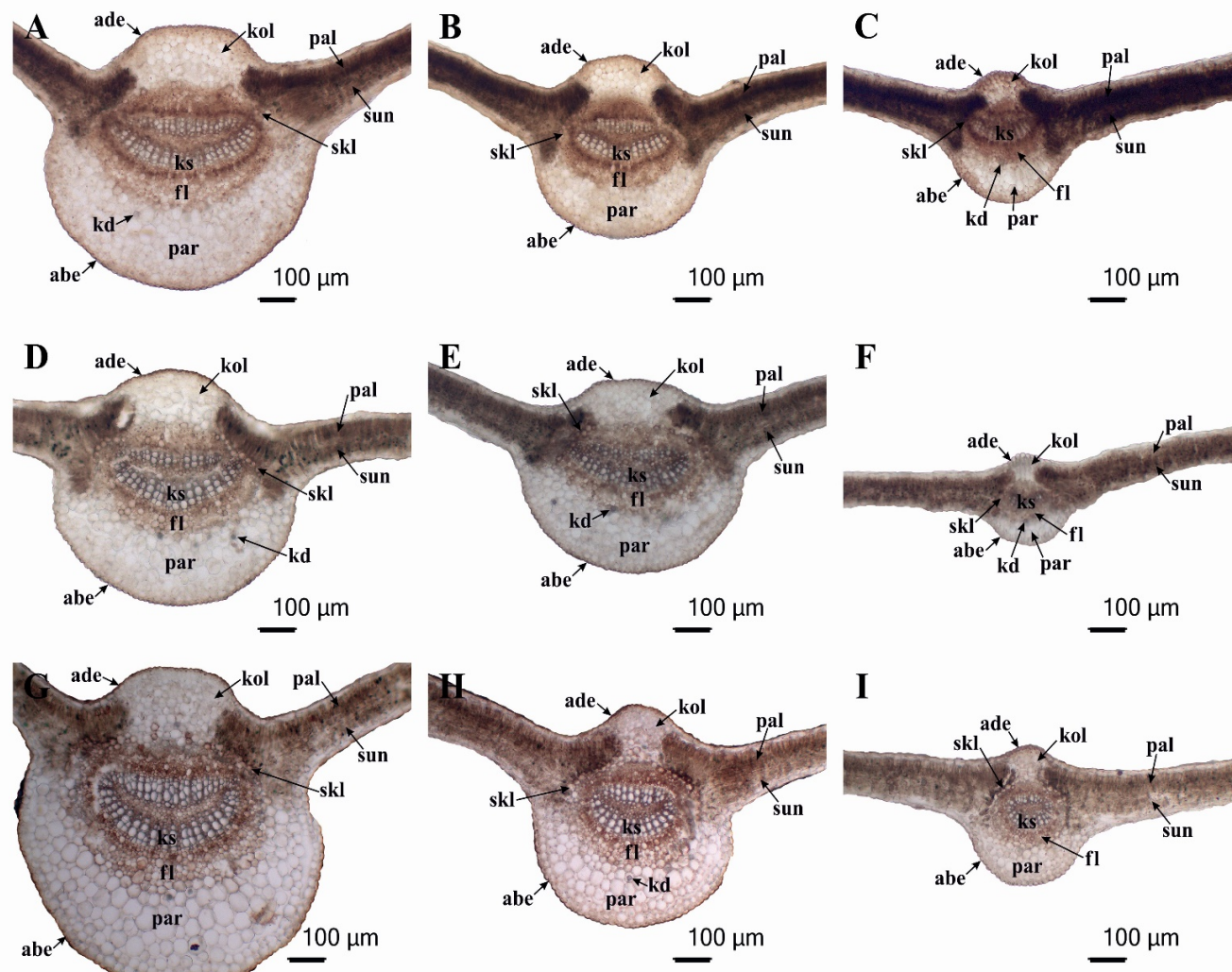
pal – palisadno tkivo

par – parenhim

skl - sklerenhimatičan

parenhim

sun – sunderasto tkivo



Slika P29. Poprečni presjek
 liske tri klona *Salix* spp.
 gajenih u prisustvu Cd 3, u
 regionu ¼ širine:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-
 44’,

D–F – *Salix viminalis* klon
 ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon
 ‘SM4041’.

Oznake:

A, D, G – bazalni segment
 liske

B, E, H – srednji segment
 liske

C, F, I – vršni segment liske
 ade – adaksijalni epidermis,

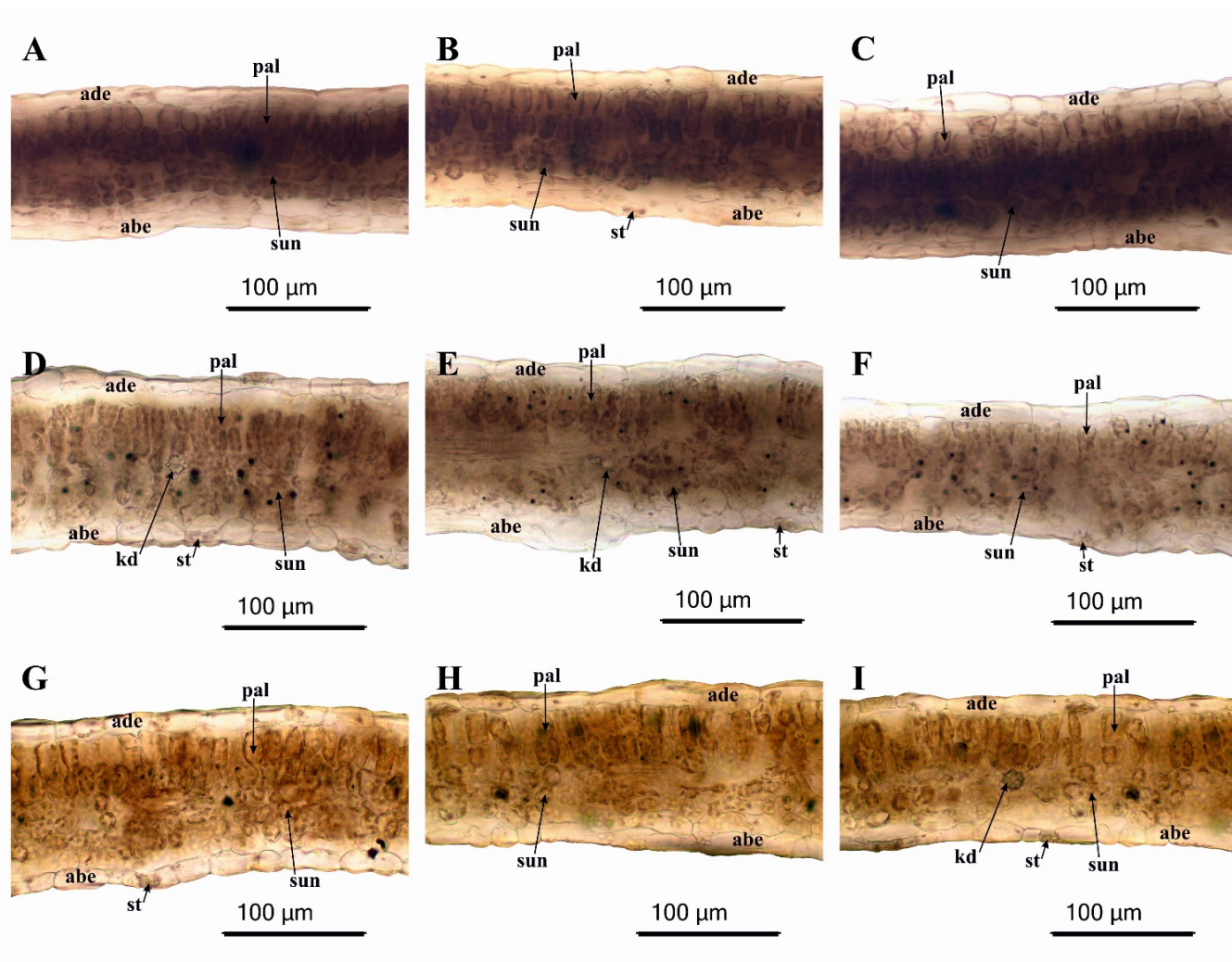
abe – abaksijalni epidermis

kd – kristalna druzna

pal – palisadno tkivo

st – stoma

sun – sunderasto tkivo



Slika P30. Poprečni presjek liske tri klonu *Salix* spp. gajenih u prisustvu Cd 6, u regionu glavnog nerva:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’.

Oznake:

A, D, G – bazalni segment liske

B, E, H – srednji segment liske

C, F, I – vršni segment liske

ade – adaksijalni epidermis

abe – abaksijalni epidermis

fl – floem

kd – kristalna druzna

kol – kolenhim

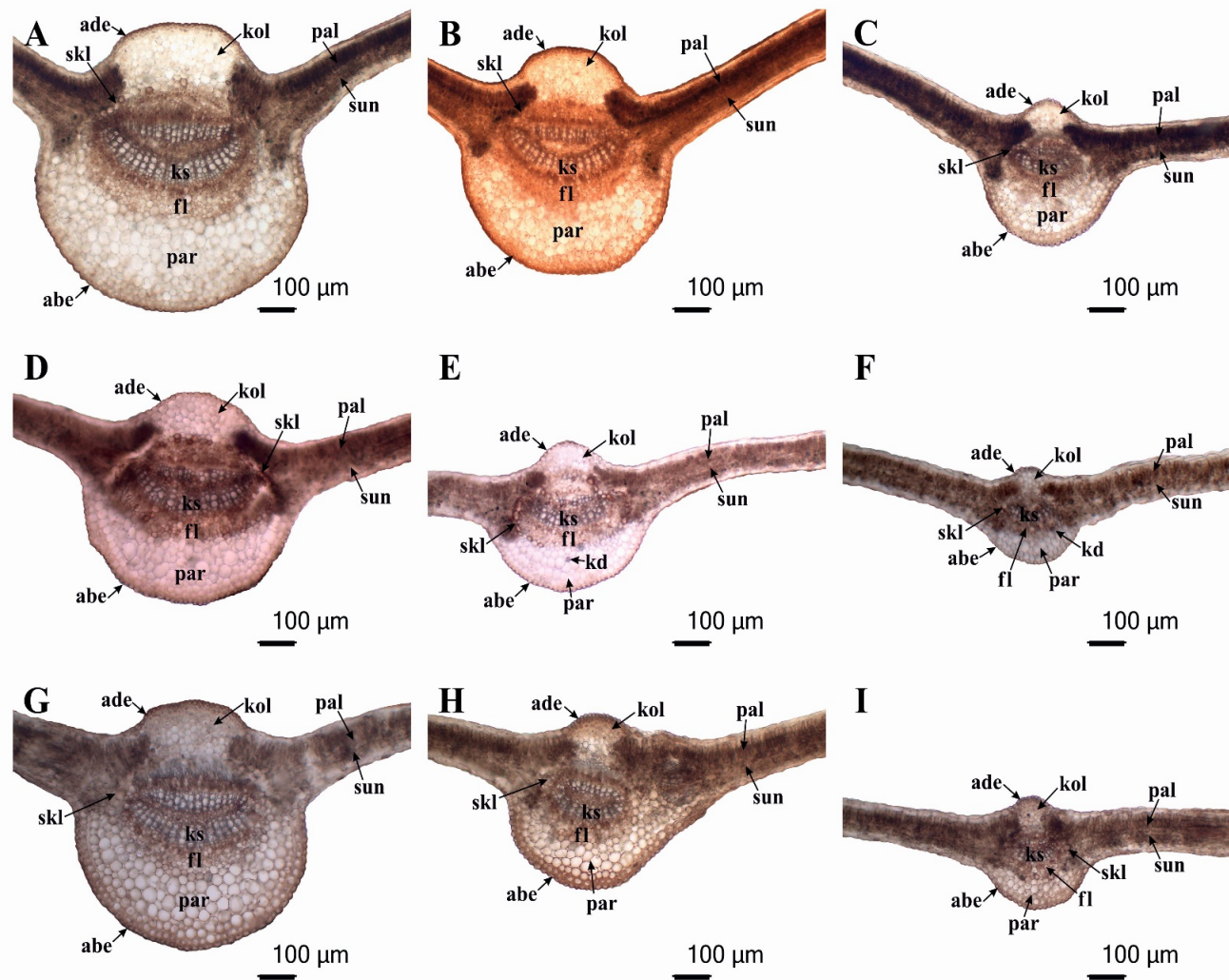
ks – ksilem

pal – palisadno tkivo

par – parenhim

skl – sklerenhimatičan parenhim

sun – sunđerasto tkivo



Slika P31. Poprečni presjek liske tri klona *Salix* spp. gajenih u prisustvu Cd 6, u regionu ¼ širine:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’.

Oznake:

A, D, G – bazalni segment liske

B, E, H – srednji segment liske

C, F, I – vršni segment liske

ade – adaksijalni epidermis,

abe – abaksijalni epidermis

kd – kristalna druzna

pal – palisadno tkivo

st – stoma

sun – sunderasto tkivo

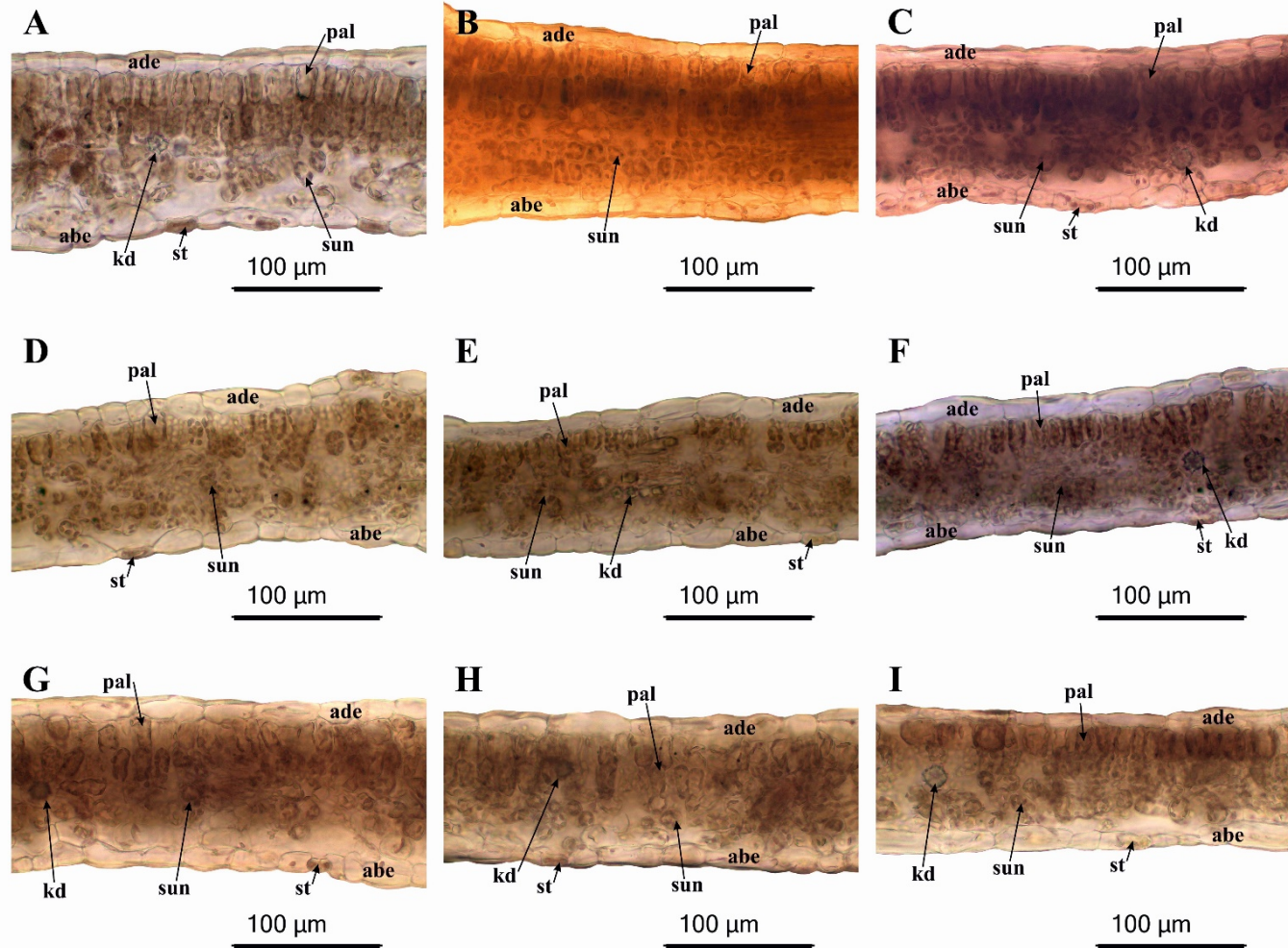


Tabela P73. Rezultati F testa trofaktorijske analize varijanse (ANOVA) za anatomske karaktere izbojaka tri klona vrba

Anatomski karakteri	Izvor varijacija						
	Klon	Tretman	Faza uzorkovanja	Klon × Tretman	Klon × Faza uzorkovanja	Tretman × Faza uzorkovanja	Klon × Tretman × Faza uzorkovanja
	df	2	3	2	6	4	6
P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	10,8*	14,7*	43,7*	0,8 ^{NS}	60,4*	6,4*	5,2*
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	455,7*	59,8*	373*	37,4*	373,0*	53,1*	70*
Debljina liske na g. n. (μm)	14,9*	9,8*	39,9*	0,8 ^{NS}	29,4*	2,9*	0,8 ^{NS}
% Debljine ad. e.	8,92*	56,9*	69,7*	8,75*	12,4*	9,34*	4,35*
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	155,4*	10,4*	331,1*	23,5*	60,5*	20,2*	38,1*
% Debljine ab. e.	13,2*	20,4*	201,6*	8,9*	7,4*	54,1*	2,1*
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	116,1*	4,22*	149,1*	14,5*	104,6*	17,4*	17,9*
% Debljine p. t.	53,9*	56,9*	78,0*	2,1 ^{NS}	27,2*	74,4*	12,8*
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	67,5*	22,4*	170,7*	47,7*	341,3*	57,4*	64,2*
Indeks p. ć.	5,5*	0,3 ^{NS}	0,8 ^{NS}	0,9 ^{NS}	4,5*	4,6*	0,6 ^{NS}
% Debljine s. t.	26,5*	146,7*	33,0*	9,7*	14,8*	59,9*	8,1*
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	67,2*	12,0*	156,4*	39,2*	311,7*	50,7*	45,8*
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	6,0*	19,2*	16,6*	1,0 ^{NS}	16,0*	8,6*	0,9 ^{NS}
% P ksilema snopića g. n.	5,0*	4,0*	7,1*	0,5 ^{NS}	3,4*	3,5*	0,8 ^{NS}
% P floema snopića g. n.	9,2*	8,6*	71,1*	2,7*	9,3*	4,0*	2,6*
% P sklerenhima g. n.	4,9*	2,0 ^{NS}	9,9*	1,3 ^{NS}	2,8*	9,5*	0,4 ^{NS}
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	7,8*	6,6*	10,0*	1,5 ^{NS}	4,4*	5,2*	0,5 ^{NS}

Nezavisni faktori su klon ('B-44', 'SV068', 'SM4041'), tretman (Cd 3, Cd 6, Cd 3+L, Cd 6+L) i faza uzorkovanja (juni, avgust i septembar); df – stepeni slobode.

Legenda za nivo značajnosti: NS – nije značajan uticaj ($p > 0,05$); (*) – značajan uticaj za $p \leq 0,05$.

Tabela P74. Anatomske karakteristike liste *Salix alba* klon 'B-44' (I uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike liste	Kontrola	Cd 3 (I)	Cd 6 (I)
P liste na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	30,8 ± 6,89 (50,1) a*	22,0 ± 1,82 (18,5) a	30,0 ± 2,32 (30,0) a
Debljina liste na 1/4 širine (μm)	136 ± 3,30 (21,0) a	118 ± 1,14 (8,36) b	115 ± 2,31 (17,4) b
Debljina liste na g. n. (μm)	580 ± 25,6 (65,5) a	552 ± 32,1 (79,4) a	613 ± 28,3 (17,9) a
% Debljine ad. e.	12,6 ± 0,25 (17,3) a	12,3 ± 0,24 (16,9) ab	11,6 ± 0,41 (30,4) b
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	362 ± 20,0 (47,8) a	251 ± 10,1 (34,6) c	319 ± 13,9 (37,6) b
% Debljine ab. e.	12,0 ± 0,21 (15,4) a	12,6 ± 0,24 (16,6) a	9,62 ± 0,34 (30,5) b
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	302 ± 15,9 (45,5) a	261 ± 7,95 (26,4) b	224 ± 9,71 (37,6) c
% Debljine p. t.	32,0 ± 0,50 (13,6) b	33,4 ± 0,55 (14,3) a	25,9 ± 0,39 (13,5) c
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	268 ± 16,2 (52,3) a	216 ± 5,32 (21,4) b	174 ± 5,36 (26,7) c
Indeks p. ć.	1,78 ± 0,04 (17,2) b	1,97 ± 0,04 (17,6) a	1,90 ± 0,04 (17,4) a
% Debljine s. t.	37,6 ± 0,65 (15,0) b	41,2 ± 0,80 (16,8) a	33,3 ± 0,42 (10,9) c
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	199 ± 13,6 (59,3) a	158 ± 5,29 (29,0) b	126 ± 4,32 (29,7) c
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	21,1 ± 4,72 (50,0) a	20,1 ± 5,92 (65,9) a	23,8 ± 1,50 (24,3) a
% P ksilema snopića g. n.	13,2 ± 1,44 (24,4) a	15,0 ± 1,2 (17,9) a	12,1 ± 0,20 (18,5) a
% P floema snopića g. n.	12,3 ± 0,60 (12,0) a	10,4 ± 1,01 (21,7) a	8,16 ± 0,91 (15,7) b
% P sklerenhima g. n.	4,86 ± 0,72 (33,0) a	5,75 ± 0,88 (34,3) a	2,82 ± 0,50 (28,4) b
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	69,6 ± 1,94 (6,22) b	68,9 ± 1,39 (4,50) b	76,9 ± 0,85 (2,45) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P75. Anatomske karakteristike liste *Salix viminalis* klon 'SV068' (I uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike liste	Kontrola	Cd 3 (I)	Cd 6 (I)
P liste na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	35,6 ± 7,96 (50,1) a*	26,6 ± 1,39 (11,7) a	30,0 ± 4,34 (32,4) a
Debljina liste na 1/4 širine (μm)	157 ± 3,81 (21,0) a	133 ± 1,62 (10,6) b	133 ± 2,67 (17,4) b
Debljina liste na g. n. (μm)	669 ± 7,56 (25,3) a	670 ± 7,40 (24,4) a	613 ± 5,30 (19,3) a
% Debljine ad. e.	13,0 ± 0,30 (17,0) a	12,7 ± 0,30 (18,0) a	11,6 ± 0,41 (30,4) b
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	418 ± 23,1 (47,8) a	283 ± 10,9 (33,3) c	369 ± 16,0 (37,6) b
% Debljine ab. e.	12,3 ± 0,23 (16,0) b	13,1 ± 0,25 (16,6) a	9,62 ± 0,34 (30,5) c
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	349 ± 18,3 (45,5) a	307 ± 9,53 (27,0) b	258 ± 11,2 (37,6) c
% Debljine p. t.	33,2 ± 0,55 (15,1) b	34,7 ± 0,50 (1,2) a	25,2 ± 0,39 (13,5) c
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	309 ± 18,7 (52,3) a	251 ± 6,20 (21,4) b	201 ± 6,18 (26,7) c
Indeks p. ć.	1,81 ± 0,06 (17,7) c	2,02 ± 0,04 (17,8) a	1,90 ± 0,04 (17,4) b
% Debljine s. t.	38,4 ± 0,68 (15,8) b	42,0 ± 0,80 (16,2) a	33,3 ± 0,42 (10,9) c
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	230 ± 15,7 (59,3) a	192 ± 5,57 (25,1) b	146 ± 5,00 (29,7) c
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	24,4 ± 5,44 (50,0) a	25,2 ± 5,94 (52,8) a	23,8 ± 2,80 (26,2) a
% P ksilema snopića g. n.	13,2 ± 1,45 (24,4) ab	15,8 ± 1,01 (14,3) a	12,1 ± 6,33 (11,7) b
% P floema snopića g. n.	12,3 ± 0,64 (11,6) a	9,35 ± 0,26 (6,28) b	8,20 ± 6,81 (18,7) b
% P sklerenhima g. n.	5,00 ± 0,70 (33,2) ab	6,31 ± 1,09 (38,5) a	2,82 ± 0,46 (33,6) b
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	69,6 ± 1,90 (6,20) b	66,9 ± 0,77 (2,57) b	77,0 ± 1,00 (2,92) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P76. Anatomske karaktere liske *Salix matsudana* klon 'SM4041' (I uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere liske	Kontrola	Cd 3 (I)	Cd 6 (I)
P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	46,9 ± 10,5 (50,1) a*	35,1 ± 1,83 (11,7) a	45,8 ± 6,62 (32,4) a
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	208 ± 5,04 (21,0) a	176 ± 2,14 (10,6) b	175 ± 3,52 (17,4) b
Debljina liske na g. n. (μm)	884 ± 90,9 (25,3) a	885 ± 96,9 (24,4) a	935 ± 80,8 (19,3) a
% Debljine ad. e.	13,5 ± 0,45 (19,3) a	12,7 ± 0,26 (17,7) a	11,6 ± 0,41 (30,4) b
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	553 ± 30,5 (47,8) a	375 ± 14,3 (32,0) c	488 ± 21,2 (37,6) b
% Debljine ab. e.	12,6 ± 0,31 (16,4) b	13,0 ± 0,25 (16,7) a	9,62 ± 0,34 (30,5) c
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	462 ± 24,2 (45,5) a	406 ± 12,6 (26,8) b	342 ± 14,8 (37,6) c
% Debljine p. t.	33,6 ± 0,60 (15,6) b	34,7 ± 0,48 (11,8) a	25,2 ± 0,39 (13,5) c
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	409 ± 24,7 (52,3) a	334 ± 8,19 (21,2) b	265 ± 8,17 (26,7) c
Indeks p. ć.	1,79 ± 0,05 (17,5) c	2,02 ± 0,04 (17,8) a	1,90 ± 0,04 (17,4) b
% Debljine s. t.	38,6 ± 0,71 (16,0) b	42,0 ± 0,78 (16,2) a	33,3 ± 0,42 (10,9) c
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	303 ± 20,8 (59,3) a	256 ± 7,22 (24,4) b	192 ± 6,60 (29,7) c
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	32,2 ± 7,19 (50,0) a	33,3 ± 7,85 (52,8) a	36,3 ± 4,25 (26,2) a
% P ksilema snopića g. n.	13,0 ± 1,50 (24,0) ab	16,0 ± 1,01 (14,0) a	12,1 ± 6,07 (11,2) b
% P floema snopića g. n.	12,0 ± 0,60 (11,5) a	9,35 ± 0,20 (6,30) b	8,16 ± 1,23 (33,6) b
% P sklerenhima g. n.	4,90 ± 0,70 (33,0) ab	6,32 ± 1,09 (39,0) a	2,80 ± 8,02 (36,6) b
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	69,6 ± 1,92 (6,22) b	68,6 ± 1,51 (4,93) b	76,9 ± 1,30 (3,77) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P77. Anatomske karaktere liske klona *Salix alba* 'B-44' (II uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere liske	Kontrola	Cd 3 (II)	Cd 6 (II)
P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	25,3 ± 3,12 (27,6) b*	24,8 ± 2,68 (24,2) b	51,6 ± 5,32 (23,0) a
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	122 ± 4,10 (29,2) b	130 ± 2,47 (16,5) b	167 ± 3,26 (16,9) a
Debljina liske na g. n. (μm)	526 ± 13,8 (32,4) b	529 ± 13,7 (32,5) b	838 ± 39,2 (10,5) a
% Debljine ad. e.	13,2 ± 0,34 (22,2) a	10,9 ± 0,31 (24,9) c	12,1 ± 0,34 (24,4) b
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	152 ± 5,51 (31,3) b	164 ± 6,50 (34,3) b	230 ± 9,88 (37,2) a
% Debljine ab. e.	13,2 ± 0,40 (25,5) a	9,80 ± 0,25 (22,4) c	10,8 ± 0,27 (21,8) b
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	174 ± 5,93 (29,6) b	188 ± 7,72 (35,6) b	298 ± 10,1 (29,5) a
% Debljine p. t.	37,9 ± 1,10 (25,3) a	34,5 ± 0,72 (18,3) b	30,1 ± 0,79 (22,6) c
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	194 ± 7,50 (33,6) b	213 ± 8,54 (34,7) ab	226 ± 8,20 (31,4) a
Indeks p. ć.	1,93 ± 0,09 (40,8) a	1,78 ± 0,07 (37,0) a	1,95 ± 0,07 (31,2) a
% Debljine s. t.	45,0 ± 1,06 (20,4) a	35,0 ± 0,70 (17,4) b	34,8 ± 0,93 (23,0) b
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	148 ± 6,00 (34,7) b	154 ± 6,63 (37,2) b	222 ± 9,36 (36,6) a
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	16,9 ± 2,12 (28,0) b	17,6 ± 2,03 (25,7) b	27,2 ± 9,56 (57,4) a
% P ksilema snopića g. n.	15,7 ± 1,10 (15,5) a	14,7 ± 0,70 (9,98) a	15,1 ± 0,38 (5,71) a
% P floema snopića g. n.	5,62 ± 0,55 (21,8) a	4,00 ± 0,50 (27,8) b	5,80 ± 0,22 (8,61) a
% P sklerenhima g. n.	7,00 ± 0,80 (24,1) a	4,72 ± 0,26 (21,4) a	6,45 ± 1,05 (36,4) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	71,7 ± 1,63 (5,08) b	76,6 ± 0,90 (2,64) a	72,7 ± 1,17 (3,60) b

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P78. Anatomske karaktere liske *Salix viminalis* klon 'SV068' (II uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere liske	Kontrola	Cd 3 (II)	Cd 6 (II)
P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	22,3 ± 5,42 (54,3) b*	16,6 ± 2,18 (50,3) b	36,5 ± 2,71 (16,6) a
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	114 ± 2,09 (15,9) b	97,8 ± 1,80 (16,0) c	145 ± 2,45 (14,6) a
Debljina liske na g. n. (μm)	469 ± 52,9 (25,2) ab	355 ± 21,4 (23,3) b	504 ± 15,8 (6,98) a
% Debljine ad. e.	10,4 ± 0,30 (25,0) b	9,18 ± 0,27 (25,2) c	11,6 ± 0,27 (19,9) a
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	180 ± 10,7 (51,6) b	136 ± 8,10 (51,6) c	299 ± 12,8 (37,2) a
% Debljine ab. e.	11,8 ± 0,33 (24,1) a	10,4 ± 0,30 (24,1) b	10,8 ± 0,23 (18,4) b
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	236 ± 11,0 (40,4) b	178 ± 8,33 (40,4) c	287 ± 11,6 (35,1) a
% Debljine p. t.	31,2 ± 0,58 (16,0) a	27,4 ± 0,50 (15,7) c	29,5 ± 0,69 (20,2) b
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	123 ± 5,35 (37,6) b	93,1 ± 4,04 (37,6) c	194 ± 6,97 (31,1) a
Indeks p. ć.	1,92 ± 0,07 (33,0) a	1,91 ± 0,05 (38,4) a	1,80 ± 0,09 (42,0) a
% Debljine s. t.	33,8 ± 0,70 (17,8) a	29,7 ± 0,60 (17,2) b	35,0 ± 0,92 (22,8) a
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	124 ± 4,67 (32,7) b	87,0 ± 3,00 (29,5) c	217 ± 9,15 (36,5) a
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	16,3 ± 3,81 (52,4) a	12,1 ± 1,54 (48,5) a	18,9 ± 1,35 (15,9) a
% P ksilema snopića g. n.	17,6 ± 1,64 (20,9) a	16,8 ± 0,87 (19,2) a	16,0 ± 1,38 (19,3) a
% P floema snopića g. n.	10,9 ± 0,98 (20,2) a	8,54 ± 0,52 (18,7) a	4,72 ± 1,14 (54,3) b
% P sklerenhima g. n.	6,21 ± 0,43 (15,8) a	7,20 ± 0,23 (14,6) a	8,17 ± 1,30 (35,5) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	65,3 ± 2,33 (8,00) a	65,2 ± 2,30 (7,90) a	71,1 ± 2,88 (9,05) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P79. Anatomske karaktere liske *Salix matsudana* klon 'SM4041' (II) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karaktere liske	Kontrola	Cd 3 (II)	Cd 6 (II)
P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	27,1 ± 6,58 (54,3) a*	18,9 ± 4,60 (54,3) a	20,7 ± 5,02 (54,3) a
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	139 ± 2,54 (15,9) b	175 ± 3,52 (17,4) a	106 ± 1,94 (15,9) c
Debljina liske na g. n. (μm)	570 ± 64,2 (25,2) a	399 ± 44,9 (25,2) a	435 ± 49,0 (25,1) a
% Debljine ad. e.	10,4 ± 0,30 (25,0) b	11,6 ± 0,41 (30,4) a	9,08 ± 0,24 (23,1) c
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	218 ± 13,0 (51,6) b	288 ± 21,2 (37,6) a	146 ± 8,72 (51,6) c
% Debljine ab. e.	11,8 ± 0,33 (24,1) a	9,62 ± 0,34 (30,5) b	10,4 ± 0,30 (24,5) b
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	287 ± 13,4 (40,4) b	342 ± 14,8 (37,6) a	192 ± 8,97 (40,5) c
% Debljine p. t.	31,2 ± 0,57 (16,0) a	25,2 ± 0,40 (13,5) c	27,3 ± 0,49 (15,5) b
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	149 ± 6,50 (37,6) b	265 ± 8,17 (26,7) a	100 ± 4,35 (37,6) c
Indeks p. ć.	1,92 ± 0,07 (32,9) a	1,90 ± 0,04 (17,4) a	1,92 ± 0,07 (33,0) a
% Debljine s. t.	33,8 ± 0,69 (17,8) a	33,3 ± 0,42 (10,9) a	29,5 ± 0,59 (17,3) b
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	140 ± 4,75 (29,5) b	192 ± 6,60 (29,7) a	93,6 ± 3,19 (29,5) c
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	19,8 ± 4,64 (52,4) a	13,8 ± 3,24 (52,4) a	15,1 ± 3,53 (52,4) a
% P ksilema snopića g. n.	18,0 ± 1,64 (20,9) a	17,6 ± 1,64 (20,8) a	17,6 ± 1,60 (21,0) a
% P floema snopića g. n.	10,9 ± 0,98 (20,2) a	10,9 ± 1,00 (20,1) a	10,9 ± 0,98 (20,1) a
% P sklerenhima g. n.	6,21 ± 0,44 (15,8) a	6,20 ± 0,43 (16,0) a	6,20 ± 0,40 (16,0) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	65,3 ± 2,30 (8,00) a	65,2 ± 2,30 (7,90) a	65,2 ± 2,30 (7,98) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P80. Anatomske karakteristike liste *Salix alba* klon 'B-44' (III uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike liste	Kontrola	Cd 3 (III)	Cd 6 (III)
P liste na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	31,5 ± 3,36 (23,9) ab*	35,3 ± 3,62 (23,0) a	23,5 ± 3,01 (28,7) b
Debljina liste na 1/4 širine (μm)	133 ± 2,63 (17,1) b	146 ± 2,27 (13,4) a	119 ± 2,58 (18,8) c
Debljina liste na g. n. (μm)	575 ± 53,3 (20,7) a	564 ± 20,6 (8,15) a	574 ± 60,7 (23,6) a
% Debljine ad. e.	11,4 ± 0,27 (20,3) a	10,2 ± 0,36 (30,4) b	11,1 ± 0,36 (27,8) a
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	185 ± 6,78 (31,8) a	175 ± 7,39 (36,5) a	167 ± 6,18 (32,0) a
% Debljine ab. e.	10,6 ± 0,28 (23,1) a	9,17 ± 0,22 (21,1) b	9,73 ± 0,29 (26,0) b
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	176 ± 6,52 (32,2) a	174 ± 7,35 (36,5) a	191 ± 7,64 (34,6) a
% Debljine p. t.	31,0 ± 0,53 (14,7) b	29,5 ± 0,46 (13,6) b	38,5 ± 0,91 (20,4) a
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	147 ± 5,35 (32,0) b	199 ± 7,91 (34,4) a	195 ± 4,75 (21,2) a
Indeks p. ć.	2,08 ± 0,08 (34,2) a	1,92 ± 0,03 (13,1) a	1,98 ± 0,04 (18,2) a
% Debljine s. t.	32,9 ± 0,60 (15,8) b	29,3 ± 0,48 (14,4) c	34,8 ± 0,70 (17,3) a
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	116 ± 4,25 (31,7) b	125 ± 4,47 (30,9) ab	135 ± 4,01 (25,7) a
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	17,5 ± 1,91 (24,5) a	14,9 ± 5,21 (7,80) a	22,0 ± 5,24 (52,4) a
% P ksilema snopića g. n.	15,1 ± 0,40 (5,81) a	15,9 ± 0,55 (7,77) a	16,4 ± 1,08 (14,8) a
% P floema snopića g. n.	4,70 ± 0,61 (26,8) a	3,75 ± 0,36 (20,7) a	5,40 ± 0,73 (30,5) a
% P sklerenhima g. n.	5,07 ± 0,35 (30,5) a	4,63 ± 0,32 (15,6) a	6,01 ± 0,43 (16,2) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	75,1 ± 1,43 (4,26) a	75,7 ± 0,53 (1,56) a	72,2 ± 1,95 (6,04) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P81. Anatomske karakteristike liste *Salix viminalis* klon 'SV068' (III uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike liste	Kontrola	Cd 3 (III)	Cd 6 (III)
P liste na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	44,5 ± 7,90 (39,7) a*	36,5 ± 2,71 (16,6) a	40,5 ± 3,00 (16,6) a
Debljina liste na 1/4 širine (μm)	164 ± 3,96 (20,9) a	145 ± 2,45 (14,6) b	161 ± 2,72 (14,6) a
Debljina liste na g. n. (μm)	677 ± 8,31 (27,4) a	505 ± 7,00 (15,8) b	560 ± 7,03 (17,6) ab
% Debljine ad. e.	14,4 ± 0,33 (19,7) a	12,0 ± 0,27 (20,0) b	11,6 ± 0,26 (19,9) b
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	390 ± 17,8 (39,4) a	299 ± 12,8 (37,2) b	332 ± 14,3 (37,2) b
% Debljine ab. e.	13,4 ± 0,32 (20,6) a	11,0 ± 0,23 (18,4) b	10,7 ± 0,22 (18,3) b
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	374 ± 17,9 (41,4) a	287 ± 11,6 (35,1) b	318 ± 12,9 (35,0) b
% Debljine p. t.	33,7 ± 1,42 (36,5) a	29,5 ± 0,69 (20,2) b	30,0 ± 0,68 (20,0) b
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	271 ± 10,7 (34,1) a	194 ± 6,97 (31,1) b	215 ± 7,73 (31,0) b
Indeks p. ć.	1,67 ± 0,06 (28,8) a	1,80 ± 0,09 (42,0) a	1,81 ± 1,00 (41,0) a
% Debljine s. t.	44,1 ± 1,05 (20,5) a	35,0 ± 0,92 (23,0) b	35,0 ± 0,90 (22,0) b
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	345 ± 17,4 (43,6) a	217 ± 9,15 (36,5) b	241 ± 10,2 (36,5) b
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	24,5 ± 4,93 (45,0) a	18,9 ± 1,35 (15,9) a	21,0 ± 1,50 (16,0) a
% P ksilema snopića g. n.	14,7 ± 1,04 (15,8) a	16,0 ± 1,38 (19,3) a	15,9 ± 1,37 (19,2) a
% P floema snopića g. n.	6,13 ± 0,81 (30,0) a	7,27 ± 0,93 (28,6) a	6,31 ± 0,88 (31,4) a
% P sklerenhima g. n.	9,92 ± 2,02 (45,7) a	8,17 ± 1,30 (35,5) a	8,16 ± 1,26 (35,0) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	70,8 ± 3,05 (9,63) a	71,1 ± 2,88 (9,05) a	71,1 ± 2,90 (9,10) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P82. Anatomske karakteristike liske *Salix matsudana* klon 'SM4041' (III uzorak) pod uticajem Cd 3 i Cd 6, u poređenju sa kontrolom (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike liske	Kontrola	Cd 3 (III)	Cd 6 (III)
P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	57,3 ± 8,19 (3,20) a*	44,8 ± 6,41 (3,20) c	48,1 ± 7,57 (3,52) b
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	200 ± 3,50 (15,1) a	155 ± 2,67 (14,9) c	172 ± 3,15 (15,9) b
Debljina liske na g. n. (μm)	797 ± 23,5 (6,61) a	623 ± 18,4 (6,60) b	650 ± 23,8 (8,21) b
% Debljine ad. e.	11,2 ± 0,27 (21,1) a	11,6 ± 0,27 (20,3) a	10,9 ± 0,26 (21,4) a
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	358 ± 16,7 (40,4) a	279 ± 13,0 (40,5) b	284 ± 13,3 (40,4) b
% Debljine ab. e.	9,80 ± 0,23 (20,2) a	10,1 ± 0,20 (17,4) a	9,54 ± 0,23 (21,1) a
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	383 ± 12,6 (28,5) a	298 ± 9,90 (28,8) b	316 ± 9,82 (27,0) b
% Debljine p. t.	33,4 ± 0,56 (14,6) a	33,4 ± 0,48 (12,5) a	32,4 ± 0,62 (16,5) a
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	277 ± 8,43 (26,4) a	215 ± 6,60 (26,6) b	255 ± 9,00 (30,6) a
Indeks p. ć.	2,22 ± 0,09 (34,2) a	2,06 ± 0,08 (32,4) a	2,23 ± 1,00 (37,8) a
% Debljine s. t.	33,0 ± 0,63 (16,5) ab	33,6 ± 0,60 (14,6) a	31,7 ± 0,64 (17,6) b
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	219 ± 10,1 (39,4) a	170 ± 7,78 (39,5) b	189 ± 8,22 (37,6) b
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	33,9 ± 1,60 (11,0) a	26,5 ± 1,25 (10,5) b	26,4 ± 2,22 (18,8) b
% P ksilema snopića g. n.	18,0 ± 0,74 (9,30) a	17,9 ± 0,70 (9,28) a	18,1 ± 0,85 (10,5) a
% P floema snopića g. n.	5,20 ± 0,40 (16,0) a	5,19 ± 0,37 (16,0) a	4,80 ± 0,34 (15,8) a
% P sklerenhima g. n.	5,70 ± 0,40 (14,3) a	5,68 ± 0,36 (14,2) a	5,70 ± 0,30 (14,4) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	71,2 ± 1,10 (3,48) a	71,2 ± 1,11 (3,50) a	71,4 ± 1,00 (3,13) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole i tretmana Cd 3 i Cd 6 (Duncan test, $p \leq 0,05$).

9.13. Promjene anatomskih osobina liske klonova vrba tretiranih Cd u prisustvu limunske kiseline

Slika P32. Poprečni presjek liske tri klona *Salix* spp. gajenih u prisustvu Cd 3+L, u regionu glavnog nerva:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’.

Oznake:

A, D, G – bazalni segment liske

B, E, H – srednji segment liske

C, F, I – vršni segment liske

ade – adaksijalni epidermis

abe – abaksijalni epidermis

fl – floem

kd – kristalna druzna

kol – kolenhim

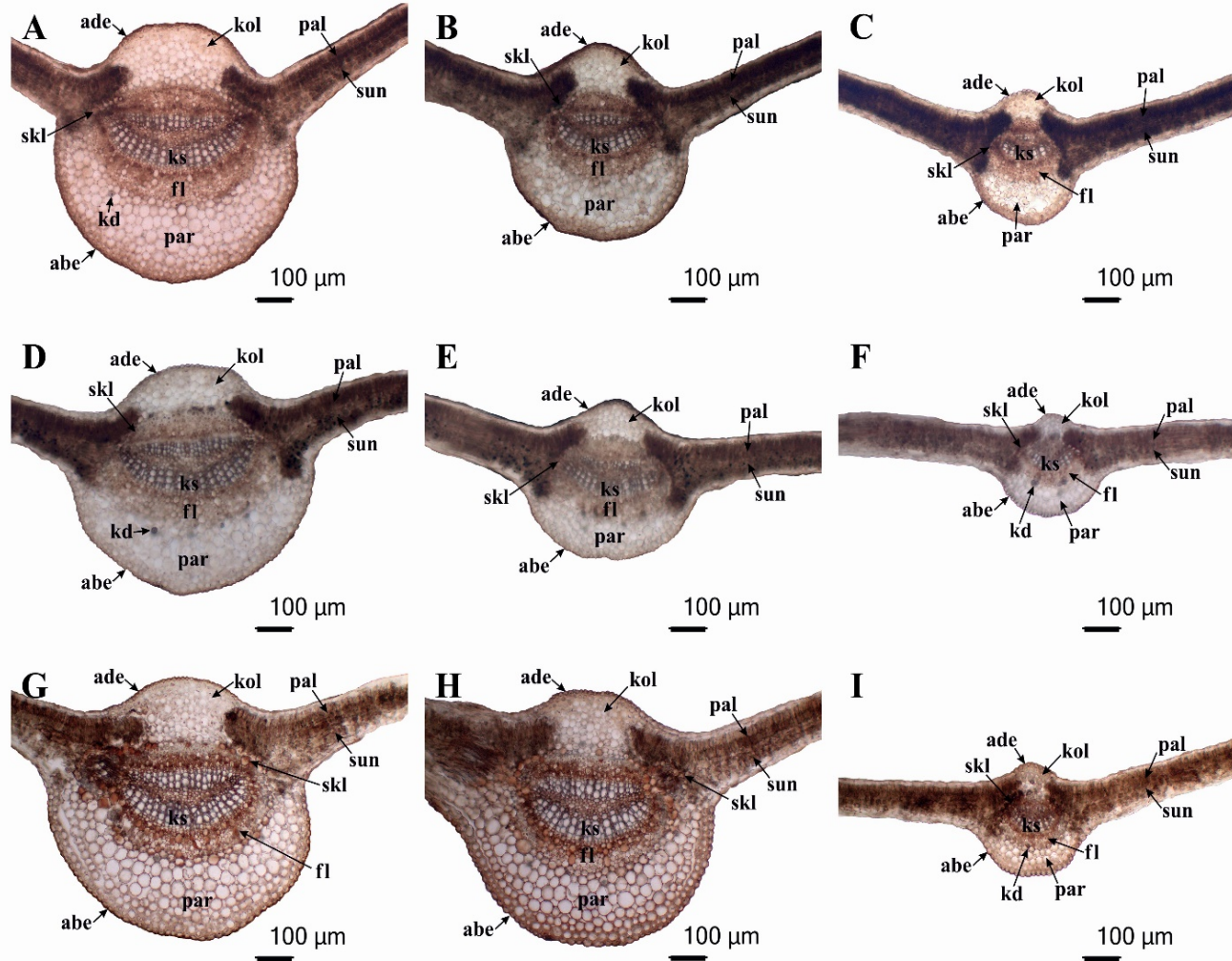
ks – ksilem

pal – palisadno tkivo

par – parenhim

skl – sklerenhimatičan parenhim

sun – sunđerasto tkivo



Slika P33. Poprečni presjek
 liske tri klon *Salix* spp.
 gajenih u prisustvu Cd 3+L, u
 regionu ¼ širine:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon
 ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon
 ‘SM4041’.

Oznake:

A, D, G – bazalni segment
 liske

B, E, H – srednji segment liske

C, F, I – vršni segment liske

ade – adaksijalni epidermis,

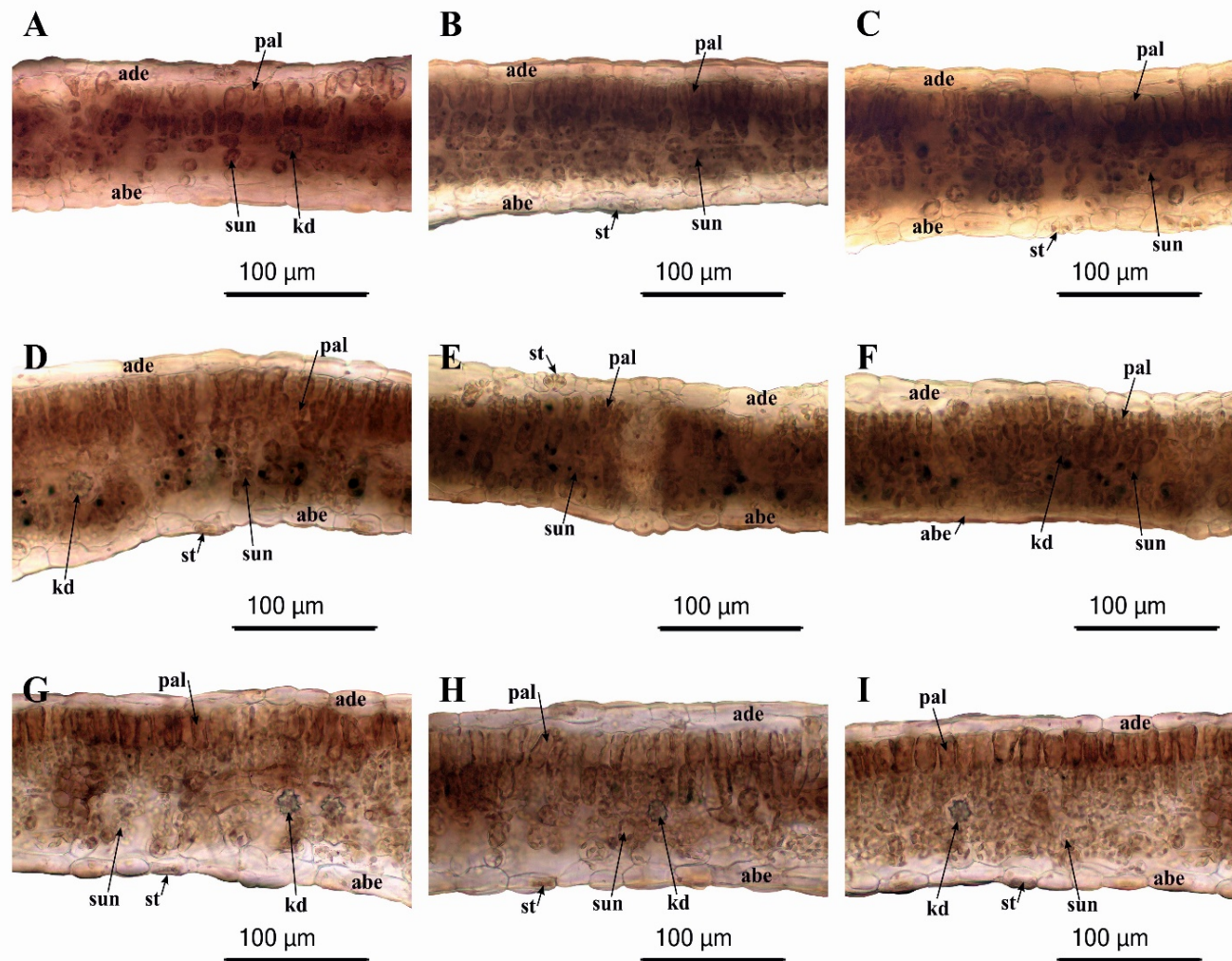
abe – abaksijalni epidermis

kd – kristalna druza

pal – palisadno tkivo

st – stoma

sun – sunderasto tkivo



Slika P34. Poprečni presjek liske tri klona *Salix* spp. gajenih u prisustvu Cd 6+L, u regionu glavnog nerva:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’.

Oznake:

A, D, G – bazalni segment liske

B, E, H – srednji segment liske

C, F, I – vršni segment liske

ade – adaksijalni epidermis

abe – abaksijalni epidermis

fl – floem

kd – kristalna druzna

kol – kolenhim

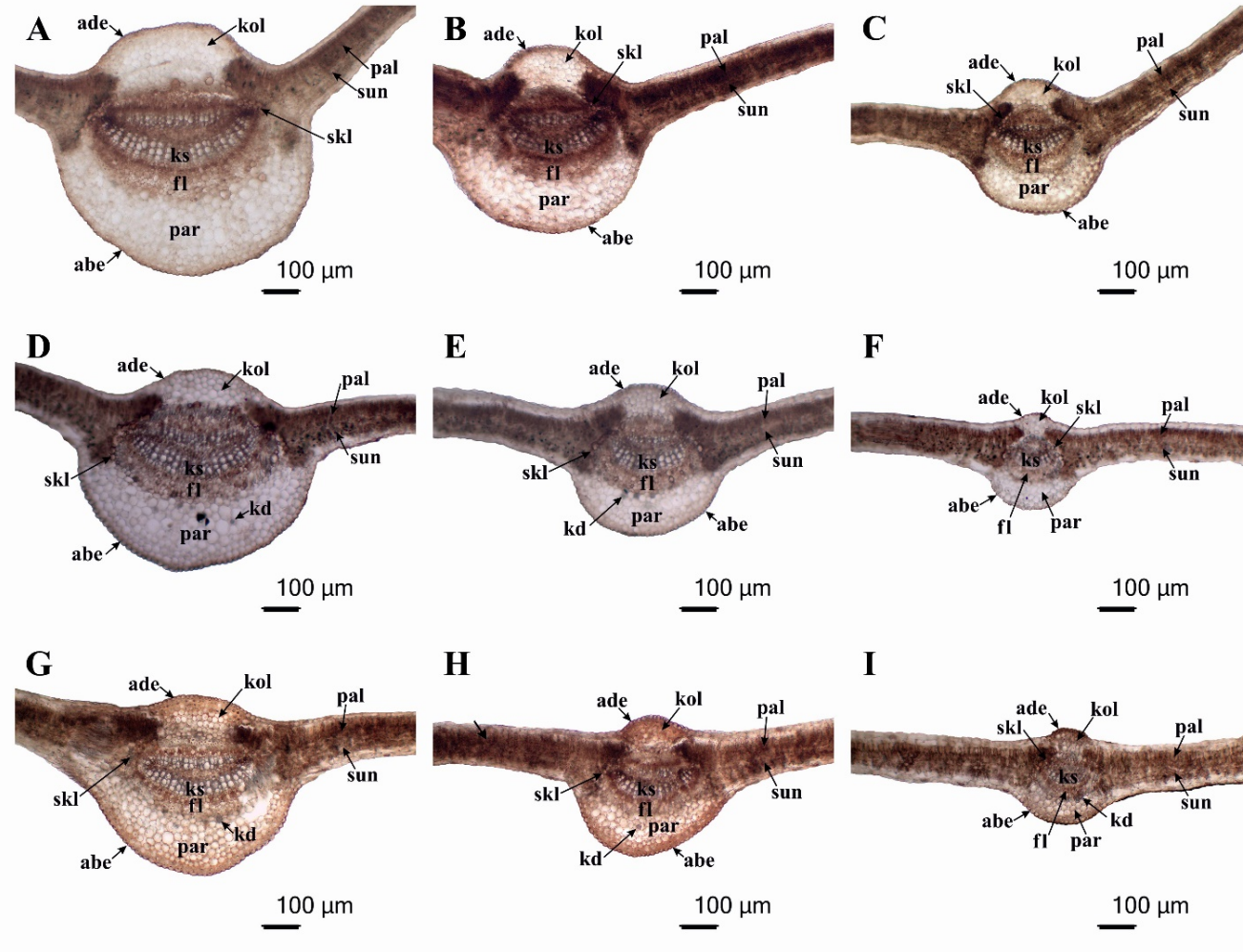
ks – ksilem

pal – palisadno tkivo

par – parenhim

skl – sklerenhimatičan parenhim

sun – sunderasto tkivo



Slika P35. Poprečni presjek liske tri klona *Salix* spp. gajenih u prisustvu Cd 6+L, u regionu ¼ širine:

A–C – *Salix alba* klon ‘B-44’,

D–F – *Salix viminalis* klon ‘SV068’,

G–I – *Salix matsudana* klon ‘SM4041’.

Oznake:

A, D, G – bazalni segment liske

B, E, H – srednji segment liske

C, F, I – vršni segment liske

ade – adaksijalni epidermis,

abe – abaksijalni epidermis

kd – kristalna druzna

pal – palisadno tkivo

st – stoma

sun – sunderasto tkivo

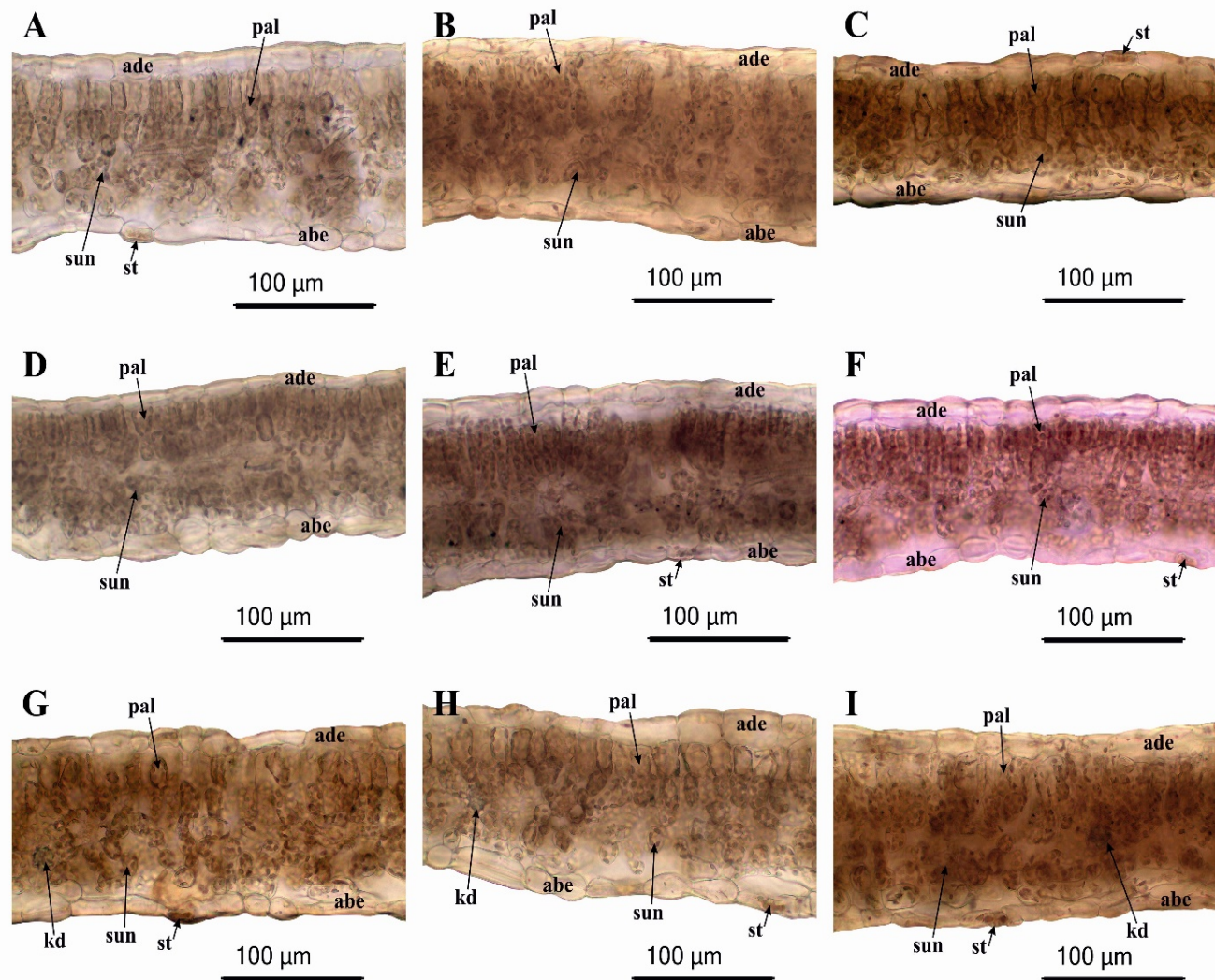


Tabela P83. Anatomske karakteristike liske *Salix alba* klon 'B-44' (I uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike liske	L	Cd 3+L (I)	Cd 6+L (I)
P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	35,3 ± 5,65 (35,7) a*	20,5 ± 7,26 (27,9) b	33,2 ± 4,71 (31,8) ab
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	154 ± 3,81 (21,4) a	119 ± 1,44 (10,5) c	138 ± 2,90 (18,2) b
Debljina liske na g. n. (μm)	699 ± 58,9 (18,8) a	553 ± 19,6 (8,00) a	729 ± 33,6 (31,8) a
% Debljine ad. e.	14,6 ± 1,14 (67,6) a	12,0 ± 0,21 (15,1) b	10,1 ± 0,31 (27,2) b
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	479 ± 21,0 (37,9) a	320 ± 14,0 (37,9) b	334 ± 22,0 (57,0) b
% Debljine ab. e.	15,2 ± 1,43 (81,2) a	13,3 ± 0,23 (14,9) ab	11,2 ± 0,33 (25,6) b
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	433 ± 17,6 (35,2) a	287 ± 18,7 (25,2) b	282 ± 24,1 (24,0) b
% Debljine p. t.	30,4 ± 0,55 (15,7) a	30,8 ± 0,40 (31,0) a	22,6 ± 0,81 (31,0) b
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	353 ± 18,3 (44,9) a	155 ± 3,63 (20,3) b	168 ± 5,31 (27,3) b
Indeks p. ć.	1,78 ± 0,05 (22,0) b	1,93 ± 0,04 (20,0) a	1,89 ± 0,03 (14,6) ab
% Debljine s. t.	34,6 ± 0,55 (13,7) a	34,5 ± 0,60 (14,0) a	25,6 ± 0,94 (32,0) b
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	265 ± 16,4 (53,6) a	121 ± 3,71 (26,4) b	122 ± 4,32 (30,5) b
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	31,3 ± 5,21 (37,3) ab	16,8 ± 5,58 (37,9) b	45,2 ± 6,60 (32,6) a
% P ksilema snopića g. n.	16,0 ± 0,51 (7,12) a	16,4 ± 0,60 (7,90) a	15,1 ± 0,44 (6,51) a
% P floema snopića g. n.	10,1 ± 0,78 (17,2) a	9,20 ± 0,80 (19,2) a	10,2 ± 0,36 (25,7) a
% P sklerenhima g. n.	6,47 ± 1,01 (35,0) a	6,30 ± 1,45 (51,6) a	6,68 ± 0,37 (25,2) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	68,1 ± 0,94 (3,09) a	68,2 ± 1,10 (3,28) a	68,0 ± 1,00 (3,00) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P84. Anatomske karakteristike liske *Salix viminalis* klon 'SV068' (I uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike liske	L	Cd 3+L (I)	Cd 6+L (I)
P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	42,5 ± 5,46 (28,7) a*	23,6 ± 8,40 (7,93) b	38,3 ± 5,44 (31,8) a
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	177 ± 4,51 (22,0) a	137 ± 1,67 (10,5) c	159 ± 3,35 (18,2) b
Debljina liske na g. n. (μm)	858 ± 43,6 (11,4) a	639 ± 22,6 (7,34) b	842 ± 31,8 (11,9) a
% Debljine ad. e.	14,6 ± 1,14 (67,5) a	12,0 ± 0,21 (15,1) b	10,1 ± 0,32 (27,2) b
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	528 ± 22,4 (36,8) a	370 ± 16,2 (37,9) b	386 ± 25,4 (57,0) b
% Debljine ab. e.	15,1 ± 1,44 (82,2) a	13,3 ± 0,23 (14,9) ab	11,2 ± 0,33 (25,6) b
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	493 ± 21,1 (37,2) a	332 ± 9,66 (25,2) b	326 ± 27,9 (74,0) b
% Debljine p. t.	30,2 ± 0,55 (15,8) a	30,8 ± 0,39 (11,0) a	22,6 ± 0,81 (31,0) b
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	395 ± 22,5 (49,2) a	179 ± 4,20 (20,3) b	194 ± 6,13 (27,3) b
Indeks p. ć.	1,88 ± 0,04 (18,0) a	1,93 ± 0,04 (19,9) a	1,89 ± 0,03 (14,6) a
% Debljine s. t.	34,7 ± 0,57 (14,3) a	34,6 ± 0,55 (13,7) a	25,6 ± 0,94 (32,0) b
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	301 ± 19,5 (56,2) a	141 ± 4,28 (26,4) b	141 ± 4,99 (30,5) b
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	41,1 ± 4,06 (22,1) a	19,7 ± 0,69 (7,92) b	52,2 ± 4,07 (30,2) a
% P ksilema snopića g. n.	15,6 ± 0,63 (9,00) ab	16,4 ± 0,77 (10,6) a	15,1 ± 0,50 (7,51) b
% P floema snopića g. n.	10,5 ± 0,75 (16,1) a	9,20 ± 1,26 (29,1) a	10,1 ± 0,38 (18,3) a
% P sklerenhima g. n.	5,62 ± 0,61 (24,4) a	6,29 ± 1,72 (16,1) a	6,68 ± 0,51 (18,2) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	68,3 ± 0,97 (3,19) a	68,2 ± 1,00 (3,10) a	68,0 ± 1,00 (3,00) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P85. Anatomske karakteristike listne ploče *Salix matsudana* klon 'SM4041' (I uzorak) pod utjecajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike listne ploče	L	Cd 3+L (I)	Cd 6+L (I)
P listne ploče na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	53,9 ± 8,63 (35,8) a*	31,2 ± 1,11 (28,0) b	50,6 ± 7,20 (31,7) ab
Debljina listne ploče na 1/4 širine (μm)	235 ± 5,81 (21,4) a	181 ± 2,20 (10,5) c	211 ± 4,43 (18,2) b
Debljina listne ploče na g. n. (μm)	1067 ± 48,0 (17,4) a	844 ± 30,0 (7,93) a	1112 ± 84,5 (29,4) a
% Debljine ad. e.	14,6 ± 1,14 (67,6) a	12,0 ± 0,21 (15,1) b	10,1 ± 0,32 (27,2) b
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	744 ± 34,9 (40,7) a	489 ± 21,4 (37,9) b	510 ± 33,6 (57,0) b
% Debljine ab. e.	15,3 ± 1,43 (81,2) a	13,3 ± 0,23 (14,9) ab	11,2 ± 0,33 (25,6) b
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	661 ± 26,8 (35,2) a	438 ± 12,8 (25,2) b	431 ± 36,8 (74,0) b
% Debljine p. t.	30,4 ± 0,55 (15,6) a	30,8 ± 0,39 (11,0) a	22,6 ± 0,81 (31,0) b
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	538 ± 27,9 (44,9) a	237 ± 5,54 (20,3) b	257 ± 8,10 (27,3) b
Indeks p. ć.	1,81 ± 0,04 (18,4) b	1,93 ± 0,04 (19,9) a	1,89 ± 0,03 (14,6) ab
% Debljine s. t.	35,0 ± 0,55 (14,0) a	34,6 ± 0,54 (13,7) a	25,6 ± 0,94 (32,0) b
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	404 ± 25,0 (53,6) a	186 ± 5,66 (26,4) b	187 ± 6,60 (30,5) b
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	47,7 ± 7,96 (37,3) ab	25,7 ± 9,10 (7,30) b	68,9 ± 5,38 (30,2) a
% P ksilema snopića g. n.	16,0 ± 0,51 (7,12) a	16,4 ± 0,31 (11,8) a	15,1 ± 0,60 (8,72) b
% P floema snopića g. n.	10,1 ± 0,77 (17,1) a	9,20 ± 0,25 (13,5) a	10,2 ± 0,40 (14,5) a
% P sklerenhima g. n.	5,77 ± 0,63 (24,3) a	6,29 ± 0,64 (16,0) a	6,68 ± 0,65 (12,6) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	68,1 ± 0,94 (3,10) a	68,2 ± 1,10 (3,14) a	68,0 ± 1,10 (3,00) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P86. Anatomske karakteristike listne ploče *Salix alba* klon 'B-44' (II uzorak) pod utjecajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike listne ploče	L	Cd 3+L (II)	Cd 6+L (II)
P listne ploče na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	25,3 ± 9,01 (7,96) b*	43,8 ± 5,56 (28,4) a	45,3 ± 7,35 (29,7) a
Debljina listne ploče na 1/4 širine (μm)	128 ± 1,74 (11,8) c	141 ± 2,77 (17,0) b	169 ± 2,20 (11,3) a
Debljina listne ploče na g. n. (μm)	583 ± 45,7 (17,5) b	728 ± 62,6 (19,2) ab	817 ± 71,3 (25,0) a
% Debljine ad. e.	12,1 ± 0,31 (22,2) a	11,3 ± 0,28 (21,6) b	10,6 ± 0,27 (21,6) b
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	149 ± 5,69 (33,0) c	210 ± 7,38 (30,5) b	284 ± 26,1 (58,8) a
% Debljine ab. e.	12,5 ± 0,30 (20,6) a	10,5 ± 0,31 (25,4) b	10,8 ± 0,23 (18,5) b
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	165 ± 6,05 (31,9) c	227 ± 8,33 (31,8) b	286 ± 21,6 (48,5) a
% Debljine p. t.	30,1 ± 0,55 (15,9) a	34,1 ± 0,72 (18,2) a	28,0 ± 0,75 (23,3) a
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	154 ± 6,11 (34,3) b	218 ± 8,44 (33,5) a	244 ± 15,5 (33,2) a
Indeks p. ć.	1,79 ± 0,06 (30,9) b	1,94 ± 0,06 (29,0) ab	2,01 ± 0,05 (20,4) a
% Debljine s. t.	29,3 ± 0,78 (23,2) b	35,9 ± 1,16 (28,0) a	28,9 ± 0,77 (23,0) b
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	123 ± 5,91 (41,5) b	167 ± 5,74 (29,8) a	178 ± 8,32 (25,9) a
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	21,7 ± 4,67 (17,5) b	38,7 ± 9,63 (55,7) a	37,2 ± 11,8 (56,1) a
% P ksilema snopića g. n.	13,4 ± 0,72 (12,0) a	15,8 ± 0,56 (7,86) a	13,3 ± 0,30 (7,83) a
% P floema snopića g. n.	3,61 ± 0,38 (23,8) b	5,44 ± 0,70 (27,3) a	6,21 ± 4,24 (29,6) a
% P sklerenhima g. n.	5,18 ± 0,42 (18,2) a	5,73 ± 0,73 (29,7) a	5,57 ± 0,64 (16,0) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	77,8 ± 1,23 (3,54) a	73,1 ± 1,16 (3,55) a	69,1 ± 0,75 (2,84) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P87. Anatomski karakteri liske *Salix viminalis* klon 'SV068' (II uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomski karakteri liske	L	Cd 3+L (II)	Cd 6+L (II)
P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	24,5 ± 2,73 (24,9) a*	21,4 ± 2,38 (24,9) a	19,2 ± 2,13 (24,8) a
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	130 ± 4,61 (30,6) a	113 ± 4,01 (30,6) b	102 ± 3,60 (30,6) c
Debljina liske na g. n. (μm)	573 ± 43,0 (17,0) a	499 ± 37,5 (16,8) ab	448 ± 33,6 (16,7) b
% Debljine ad. e.	9,18 ± 0,34 (32,5) a	9,17 ± 0,44 (32,4) a	9,20 ± 0,30 (33,0) a
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	188 ± 8,90 (41,1) a	164 ± 7,75 (41,1) b	147 ± 7,00 (41,0) b
% Debljine ab. e.	9,13 ± 0,36 (34,3) a	9,13 ± 0,36 (34,3) a	9,10 ± 0,30 (34,0) a
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	195 ± 7,70 (34,1) a	170 ± 6,70 (34,2) b	152 ± 6,01 (34,1) b
% Debljine p. t.	29,4 ± 0,97 (28,5) a	29,0 ± 0,96 (28,3) a	29,1 ± 1,00 (29,0) a
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	133 ± 5,46 (35,5) a	116 ± 4,75 (33,5) b	104 ± 4,26 (36,0) b
Indeks p. ć.	2,04 ± 0,13 (54,5) a	2,03 ± 0,12 (54,0) a	2,00 ± 0,12 (54,4) a
% Debljine s. t.	29,2 ± 0,97 (28,8) a	29,3 ± 1,16 (28,0) a	29,0 ± 1,00 (23,0) a
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	113 ± 5,67 (43,6) a	98,1 ± 4,93 (43,6) b	88,1 ± 4,43 (44,0) b
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	19,6 ± 2,54 (29,0) a	17,1 ± 2,21 (29,0) a	15,3 ± 1,98 (29,1) a
% P ksilema snopića g. n.	17,3 ± 1,02 (13,2) a	17,2 ± 1,00 (13,0) a	17,2 ± 1,02 (13,1) a
% P floema snopića g. n.	12,0 ± 0,33 (6,20) a	11,8 ± 0,32 (6,16) a	11,9 ± 0,37 (6,10) a
% P sklerenhima g. n.	4,50 ± 0,27 (13,4) a	4,48 ± 0,26 (13,3) a	4,49 ± 0,30 (13,0) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	66,3 ± 1,51 (5,07) a	66,3 ± 1,48 (3,54) a	66,1 ± 1,75 (2,88) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P88. Anatomski karakteri liske *Salix matsudana* klon 'SM4041' (II uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomski karakteri liske	L	Cd 3+L (II)	Cd 6+L (II)
P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	22,0 ± 2,44 (25,0) a*	19,7 ± 2,18 (24,8) a	20,9 ± 2,32 (24,9) a
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	117 ± 4,13 (30,6) a	104 ± 3,70 (30,6) b	111 ± 3,92 (31,0) ab
Debljina liske na g. n. (μm)	514 ± 38,5 (16,7) a	460 ± 34,5 (17,0) a	488 ± 36,6 (16,8) a
% Debljine ad. e.	9,18 ± 0,34 (32,5) a	9,17 ± 0,30 (32,4) a	9,20 ± 0,34 (32,4) a
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	168 ± 8,00 (41,1) a	150 ± 7,13 (41,0) a	160 ± 7,58 (41,1) a
% Debljine ab. e.	9,13 ± 0,36 (34,3) a	9,12 ± 0,30 (34,0) a	9,13 ± 0,36 (34,5) a
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	174 ± 6,89 (34,2) a	156 ± 6,16 (34,8) a	166 ± 6,55 (34,1) a
% Debljine p. t.	29,4 ± 0,97 (28,5) a	29,0 ± 1,00 (28,0) a	29,4 ± 0,96 (28,4) a
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	119 ± 4,88 (35,5) a	107 ± 4,37 (36,0) a	113 ± 4,64 (35,5) a
Indeks p. ć.	2,04 ± 0,12 (55,0) a	2,00 ± 0,12 (54,5) a	2,04 ± 0,13 (54,1) a
% Debljine s. t.	29,5 ± 0,93 (29,0) a	29,2 ± 1,16 (28,0) a	29,2 ± 0,97 (28,8) a
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	99,6 ± 5,20 (45,3) a	90,0 ± 4,54 (43,6) a	96,0 ± 4,82 (44,0) a
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	17,5 ± 2,28 (29,0) a	15,7 ± 2,04 (29,0) a	16,7 ± 2,16 (29,1) a
% P ksilema snopića g. n.	17,2 ± 1,00 (13,2) a	17,3 ± 1,02 (13,1) a	17,3 ± 1,00 (12,3) a
% P floema snopića g. n.	11,9 ± 0,37 (6,16) a	12,0 ± 0,33 (6,10) a	11,9 ± 0,28 (6,63) a
% P sklerenhima g. n.	4,48 ± 0,26 (13,3) a	4,50 ± 0,28 (13,4) a	4,49 ± 0,30 (13,0) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	66,3 ± 1,52 (5,10) a	65,1 ± 1,22 (4,19) a	66,3 ± 1,71 (2,51) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P89. Anatomske karakteristike lisne ploče *Salix alba* klon 'B-44' (III uzorak) pod utjecajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike lisne ploče	L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
P lisne ploče na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	34,6 ± 3,70 (23,9) a*	27,5 ± 2,04 (16,6) a	19,6 ± 8,27 (9,45) b
Debljina lisne ploče na 1/4 širine (μm)	147 ± 2,90 (17,1) a	122 ± 1,72 (12,2) c	130 ± 2,42 (16,1) b
Debljina lisne ploče na g. n. (μm)	633 ± 58,7 (20,7) a	618 ± 19,2 (6,93) a	569 ± 13,0 (5,10) a
% Debljine ad. e.	11,4 ± 0,27 (20,3) a	9,81 ± 0,22 (19,5) b	10,3 ± 0,25 (21,2) b
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	203 ± 7,46 (31,8) a	155 ± 5,56 (31,0) b	155 ± 5,97 (33,3) b
% Debljine ab. e.	10,6 ± 0,28 (23,1) a	9,55 ± 0,22 (20,4) b	10,7 ± 0,30 (24,5) a
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	193 ± 7,18 (32,2) a	139 ± 4,52 (28,1) c	167 ± 4,90 (25,4) b
% Debljine p. t.	33,8 ± 0,89 (22,8) a	34,1 ± 0,68 (17,3) a	35,6 ± 0,80 (19,4) a
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	161 ± 5,88 (31,6) b	175 ± 4,12 (20,4) a	181 ± 3,16 (15,1) a
Indeks p. ć.	2,08 ± 0,08 (34,2) a	1,96 ± 0,03 (14,8) ab	1,88 ± 0,03 (16,3) b
% Debljine s. t.	32,9 ± 0,60 (15,8) a	32,7 ± 0,57 (15,0) a	33,6 ± 1,01 (26,1) a
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	128 ± 4,68 (31,7) a	119 ± 3,65 (26,6) a	125 ± 3,46 (23,9) a
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	19,2 ± 2,11 (24,5) a	24,0 ± 2,56 (24,0) a	19,1 ± 5,57 (16,5) a
% P ksilema snopića g. n.	15,1 ± 0,39 (5,81) a	16,0 ± 0,69 (9,58) a	16,0 ± 0,54 (7,53) a
% P floema snopića g. n.	4,70 ± 0,64 (30,3) a	5,03 ± 0,56 (25,0) a	5,19 ± 0,56 (24,1) a
% P sklerenhima g. n.	5,07 ± 0,61 (26,8) a	7,09 ± 0,85 (26,9) a	6,97 ± 1,32 (42,5) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	75,1 ± 1,42 (4,30) a	71,8 ± 0,98 (2,90) a	72,0 ± 2,10 (2,67) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P90. Anatomske karakteristike lisne ploče *Salix viminalis* klon 'SV068' (III uzorak) pod utjecajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomske karakteristike lisne ploče	L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
P lisne ploče na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	54,2 ± 1,90 (7,86) a*	52,7 ± 1,83 (7,76) a	53,4 ± 1,88 (7,86) a
Debljina lisne ploče na 1/4 širine (μm)	169 ± 3,09 (26,2) b	183 ± 2,97 (14,1) a	166 ± 3,04 (15,8) b
Debljina lisne ploče na g. n. (μm)	700 ± 37,7 (12,0) a	588 ± 21,9 (8,31) b	576 ± 31,0 (12,0) b
% Debljine ad. e.	11,2 ± 0,34 (26,2) a	10,1 ± 0,28 (23,8) b	9,34 ± 0,28 (26,2) b
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	313 ± 11,7 (32,5) a	264 ± 9,96 (32,7) b	258 ± 9,67 (32,5) b
% Debljine ab. e.	11,4 ± 0,25 (19,1) a	9,21 ± 0,19 (18,7) b	9,55 ± 0,21 (19,1) b
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	338 ± 12,3 (31,6) a	328 ± 9,21 (24,3) a	279 ± 10,1 (31,6) b
% Debljine p. t.	33,0 ± 0,82 (21,6) a	28,2 ± 0,59 (18,0) b	27,5 ± 0,69 (21,6) b
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	305 ± 11,6 (32,95) a	318 ± 9,25 (25,2) a	251 ± 9,55 (33,0) b
Indeks p. ć.	1,65 ± 0,06 (29,4) a	1,82 ± 0,09 (44,8) a	1,65 ± 0,10 (29,3) a
% Debljine s. t.	39,1 ± 0,85 (18,8) a	29,9 ± 0,61 (17,7) c	32,7 ± 1,71 (18,9) b
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	258 ± 13,1 (44,0) a	232 ± 8,22 (30,6) ab	212 ± 10,8 (44,0) b
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	28,1 ± 2,89 (23,0) a	20,7 ± 1,82 (19,6) a	23,1 ± 2,38 (23,0) a
% P ksilema snopića g. n.	11,0 ± 1,91 (38,8) a	16,6 ± 2,68 (36,0) a	11,0 ± 1,90 (38,7) a
% P floema snopića g. n.	6,39 ± 1,59 (55,6) a	5,43 ± 1,19 (49,0) a	6,40 ± 1,60 (56,0) a
% P sklerenhima g. n.	9,17 ± 1,26 (30,7) a	7,57 ± 1,20 (35,4) a	9,17 ± 1,26 (30,7) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	73,4 ± 2,32 (4,76) a	70,4 ± 1,30 (4,10) a	73,0 ± 2,15 (2,77) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

Tabela P91. Anatomski karakteri liske *Salix matsudana* klon 'SM4041' (III uzorak) pod uticajem Cd 3+L i Cd 6+L u poređenju sa kontrolom sa L (srednja vrijednost ± standardna greška, koeficijent varijacije u % u zagradi)

Anatomski karakteri liske	L	Cd 3+L (III)	Cd 6+L (III)
P liske na poprečnom presjeku ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^5$)	70,0 ± 2,52 (8,06) a*	58,0 ± 2,91 (11,2) b	68,7 ± 2,48 (8,10) a
Debljina liske na 1/4 širine (μm)	238 ± 3,61 (13,1) a	203 ± 3,16 (13,4) b	234 ± 3,54 (13,1) a
Debljina liske na g. n. (μm)	837 ± 26,0 (7,00) a	690 ± 33,9 (11,0) b	821 ± 25,6 (6,96) a
% Debljine ad. e.	8,87 ± 0,22 (21,4) a	9,40 ± 0,24 (22,2) a	8,87 ± 0,22 (21,4) a
P poprečnog presjeka ćelija ad. e. (μm^2)	431 ± 20,8 (41,8) a	349 ± 16,5 (41,0) b	423 ± 20,4 (41,8) a
% Debljine ab. e.	8,03 ± 0,23 (24,8) a	8,25 ± 0,23 (24,1) a	8,04 ± 0,23 (24,8) a
P poprečnog presjeka ćelija ab. e. (μm^2)	415 ± 21,8 (45,3) a	342 ± 16,1 (40,6) b	408 ± 21,3 (45,4) a
% Debljine p. t.	31,0 ± 0,74 (20,5) a	29,6 ± 0,64 (18,8) a	31,1 ± 0,73 (21,0) a
P poprečnog presjeka ćelija p. t. (μm^2)	300 ± 8,74 (25,2) a	274 ± 8,82 (27,9) b	294 ± 8,57 (25,2) ab
Indeks p. ć.	1,91 ± 0,05 (20,9) a	1,91 ± 0,06 (28,8) a	1,91 ± 0,04 (21,0) a
% Debljine s. t.	25,3 ± 0,05 (15,7) a	25,8 ± 0,48 (16,2) a	25,3 ± 0,05 (15,6) a
P poprečnog presjeka ćelija s. t. (μm^2)	310 ± 9,53 (26,7) a	266 ± 8,01 (26,1) b	304 ± 9,35 (26,7) a
P poprečnog presjeka g. n. ($\mu\text{m}^2 \cdot 10^4$)	38,5 ± 2,50 (14,5) a	29,6 ± 3,24 (24,5) a	37,8 ± 2,44 (14,5) a
% P ksilema snopića g. n.	16,6 ± 0,50 (6,85) a	17,1 ± 0,91 (12,0) a	16,5 ± 0,51 (7,00) a
% P floema snopića g. n.	4,70 ± 0,51 (24,6) a	4,68 ± 0,52 (25,0) a	4,70 ± 0,50 (25,0) a
% P sklerenhima g. n.	6,63 ± 1,48 (50,1) a	5,82 ± 1,22 (46,9) a	6,60 ± 1,50 (50,2) a
% P kolenhima+parenhima glavnog nerva	72,1 ± 1,90 (6,15) a	72,4 ± 1,83 (5,66) a	72,0 ± 2,00 (6,20) a

*Srednje vrijednosti označene različitim malim slovima u redovima ukazuju na statistički značajne razlike kontrole sa L i tretmana Cd 3+L i Cd 6+L (Duncan test, $p \leq 0,05$).

BIOGRAFIJA



Zorana Hrkić Ilić rođena je 26. 2. 1981. godine u Gradišci (ranije Bosanska Gradiška), Republika Srpska, Bosna i Hercegovina. Odličnim uspjehom 1999. godine završila je Gimnaziju u sklopu Mješovitog srednjoškolskog centra „Petar Kočić“, Srbac. Osnovne studije završila je 2005. godine na Prirodno-matematičkom fakultetu, Univerziteta u Banjoj Luci, Odsjek za biologiju - opšti smjer, sa prosječnom ocjenom 8,93. Master akademske studije završila je na 2010. godine na Departmanu za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu, sa prosječnom ocjenom 10,0. Odbranom master rada iz oblasti Botanike (Anatomija i morfologija biljaka), pod nazivom „Uticaj povišenih koncentracija teških metala na anatomiju korijena vrsta *Salix alba* L. i *Salix nigra* Marshall“ stekla je naziv master biolog. Doktorske akademske studije (doktor bioloških nauka) upisala je 2019. godine na Departmanu za biologiju i ekologiju, Katedra za Botaniku, Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu.

Bila je stipendistica Ministarstva nauke i tehnologije u Vladi Republike Srpske, za master akademske studije. Od 2006. godine je zaposlena na Šumarskom fakultetu, Univerziteta u Banjoj Luci u svojstvu saradnika-višeg asistenta na užoj naučnoj oblasti Biljne nauke, botanika. Tokom rada i stručnog usavršavanja bila je angažovana na projektima finansiranim od strane Ministarstva za naučnotehnološki razvoj, visoko obrazovanje i informaciono društvo i Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede u Vladi Republike Srpske, kao i Fonda za zaštitu životne sredine. Koautor je nekoliko univerzitetskih udžbenika i praktikuma, dva naučna rada objavljena u istaknutim međunarodnim časopisima u kojima je prvi autor (M22), devet saopštenja sa međunarodnih skupova štampanih u cjelini (M33), osamnaest izvoda radova sa međunarodnih i nacionalnih naučnih skupova (M34 i M64) i deset radova objavljenih u nacionalnim časopisima (M51 i M52).

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Програм Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (Ev.br. 451-03-68/2022-14/200125)
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
Докторске академске студије, Доктор наука - биолошке науке
1. Опис података
<p>1.1 Врста студије Експериментална студија.</p> <p>1.2 Врсте података</p> <p>а) квантитативни</p> <p>б) квалитативни</p> <p>1.3. Начин прикупљања података</p> <p>а) анкете, упитници, тестови</p> <p>б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи</p> <p>в) генотипови: навести врсту <i>Salix alba</i> L. клон 'B-44', <i>Salix viminalis</i> L. клон 'SV068', <i>Salix matsudana</i> Koidz. клон 'SM4041'</p> <p>г) административни подаци: навести врсту _____</p> <p>д) узорци ткива: навести врсту _____</p> <p>ђ) снимци, фотографије: навести врсту _____</p> <p>е) текст, навести врсту _____</p> <p>ж) мапа, навести врсту _____</p> <p>з) остало: описати _____</p> <p>1.3 Формат података, употребљене скале, количина података</p> <p>1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:</p> <p>а) Excel фајл, датотека .xlsx</p> <p>б) SPSS фајл, датотека _____</p> <p>с) PDF фајл, датотека .pdf</p> <p>д) Текст фајл, датотека .docx</p> <p>е) JPG фајл, датотека .jpg</p> <p>ф) Остало, датотека _____</p> <p>1.3.2. Број записа (код квантитативних података)</p> <p>а) број варијабли велики број варијабли</p> <p>б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.): сваки микроскопски препарат вегетативних органа је мјерен на попречном пресеку у три понављања (три видна поља), мјерења су вршена у три фазе, како је описано у методолошкој секцији дисертације. Класична анатомска анализа и стереолошка анализа избојака обухватила је по 5 биљака из сваког од 6 третмана и укупно 3 узорковања током периода гајења (јуни, август и септембар).</p> <p>1.3.3. Поновљена мерења</p> <p>а) да</p> <p>б) не</p> <p>Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:</p>

- а) временски размак између поновљених мера је **зависио од научно истраживачког рада у условима стакленика и у лабораторијским условима, зависно од параметара испитивања**
- б) варијабле које се више пута мере односе се на **све анализе**
- в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као **нису именоване нове верзије фајлова**

Напомене:

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

а) **Да**

б) **Не**

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

а) **експеримент**, гајење резница три клона врба у полуконтролисаним условима стакленика, методом земљишне културе; припрема попречних пресека вегетативних органа (осим стабла резнице) методом криотехнике; анализе и мјерења микроскопском методом.

б) корелационо истраживање, навести тип _____

ц) анализа текста, навести тип _____

д) остало, навести шта _____

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

Криостат Leica CM 1850 (Leica Microsystems, Nussloch, Germany); свјетлосни микроскоп Motic VA210 са пратећим системом за анализу микрофотографија Image Analyzing System Motic Image Plus 3.0 (Motic Microscopes, Germany).

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) Колики је број недостајућих података? _____

б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да **Не**

в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података _____

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Подаци су мјерени на микроскопу који су предходно баждарен стандардизованом методом.

Контрола добијених података је извршена **статистичким анализама и коришћењем контролних експеримената.**

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

Није било уноса података у матрицу.

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. *Подаци ће бити депоновани у Репозиторијуму докторских дисертација на Универзитету у Новом Саду.*

3.1.2. *URL адреса <https://cris.uns.ac.rs/searchDissertation.jsf>*

3.1.3. *DOI није додијељен*

3.1.4. *Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?*

а) **Да**

б) *Да, али после ембарга који ће трајати до* _____

в) *Не*

Ако је одговор не, навести разлог _____

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? Описни.

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Дисертација – Зорана Хркић Илић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? **Трајно**

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да **Не**

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да **Не**

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да **Не**

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да **Не**

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да **Не**

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

а) Подаци нису у отвореном приступу

б) Подаци су анонимизирани

ц) Остало, навести шта

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

а) јавно доступни

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе: _____

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.
ауторство – некомерцијално – делити под истим условима

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Зорана Хркић Илић, zoranahi26@gmail.com

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Зорана Хркић Илић, zoranahi26@gmail.com

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима

Зорана Хркић Илић, zoranahi26@gmail.com